

VŨ THANH KHIẾT

BÀI TẬP CƠ BẢN NĂNG CAO

VẬT LÝ PT

SÁCH THAM KHẢO DÙNG CHO:

HỌC SINH KHÁ, GIỎI THPT

HỌC SINH ÔN THI ĐẠI HỌC, CAO ĐẲNG

TẬP II

1012



NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI

VŨ THANH KHIẾT

BÀI TẬP CƠ BẢN NĂNG CAO

VẬT LÝ PTTH

TẬP II

Sách tham khảo dùng cho:

- Giáo viên và phụ huynh học sinh
- Học sinh khá giỏi Lý PTTH
- Học sinh ôn thi Đại học, Cao đẳng

Thái Quyết

NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI

LỜI NÓI ĐẦU

Để giúp cho các bạn học sinh, đặc biệt là các học sinh khá, giỏi (bao gồm cả học sinh các lớp chuyên và các trường Trung học chuyên ban) rèn luyện phương pháp giải các bài tập vật lí, chuẩn bị cho các kì thi học kì, thi cuối năm, thi học sinh giỏi vật lí THPT, thi vào cao đẳng và đại học chúng tôi biên soạn bộ sách này.

Bộ sách gồm 3 tập. Nội dung (mỗi tập) bám sát chương trình Vật lí THPT và được trình bày theo các chủ đề lớn, tương ứng với các phần và các chương của sách giáo khoa Vật lí lớp 10, lớp 11 và lớp 12. Mỗi chủ đề có các phần sau đây:

1) Kiến thức cần nhớ bao gồm các *Kiến thức cơ bản* (cần nhớ và nắm chắc để làm bài tập), và *Các Kiến thức bổ sung* (là các kiến thức mở rộng thêm trong khuôn khổ chương trình vật lí phổ thông).

2) Bài tập thí dụ, bao gồm các *thí dụ về các dạng bài tập* thuộc chủ đề. Mỗi thí dụ đều có *lời giải* chi tiết, và sau đó có *hướng dẫn phương pháp giải* các bài tập thuộc dạng đó.

3) Bài tập luyện tập, bao gồm các bài tập chọn lọc thuộc chủ đề, được sắp xếp theo các dạng bài tập đã xét ở phần trên, từ dễ đến khó, và các bài tập tổng hợp có liên quan đến nhiều dạng bài tập;

4) Hướng dẫn giải và đáp số các bài tập (trình bày hướng dẫn chi tiết cách giải tất cả các bài tập đã nêu).

Chịu trách nhiệm xuất bản:

Giám đốc: Nguyễn Văn Thỏ

Tổng biên tập: Nguyễn Thiện Giáp

Biên tập và sửa bản in: Vũ Thanh

Trình bày bìa: Quốc Việt

BÀI TẬP CƠ BẢN - NÂNG CAO VẬT LÝ THPT - TẬP 2

Mã số: 01.27.DH 2000 - 313.2000.

In 1.000 cuốn, tại Công ty In Khoa học kỹ thuật - Hà Nội.

Số xuất bản: 76/313/CXB. Số trích ngang: 126 KH/XB.

In xong và nộp lưu chiểu quý IV năm 2000.

Để việc sử dụng cuốn sách này đạt hiệu quả cao, các bạn học sinh cần lưu ý:

Nghiên cứu kĩ phần kiến thức cần nhớ để ôn tập và nhớ lại các kiến thức cơ bản, cần thiết trong sách giáo khoa;

Lần lượt nghiên cứu kĩ từng thí dụ về các dạng bài tập cơ bản để nắm được phương pháp giải bài tập thuộc dạng đó, sau đó làm một số bài tương tự với thí dụ đó (xem trong mục **Bài tập luyện tập**, lần lượt và từ bài đầu tiên).

Sau khi đã nghiên cứu xong các thí dụ và làm một số bài tập tương tự, so sánh các dạng bài tập để khắc sâu nội dung kiến thức và cách giải. Trên cơ sở đó tự làm tất cả các bài tập còn lại và đối chiếu với hướng dẫn giải. Vì khuôn khổ cuốn sách có hạn nên ở đây chỉ chọn lọc một số bài tập; nhưng nếu các bạn đã tự giải đúng các bài tập nêu trong sách, thì bạn có thể giải bất kì bài tập nào thuộc chương trình Vật lí THPT.

Chúc các bạn thành công trong các kì thi sắp tới.

TÁC GIẢ

Phần một

VẬT LÍ PHÂN TỬ VÀ NHIỆT HỌC

§1. CHẤT RẮN

I. KIẾN THỨC CẦN NHỚ

1. Các biến dạng của vật rắn thường gặp là biến dạng kéo, biến dạng nén, biến dạng cắt và biến dạng uốn.

Trong giới hạn đàn hồi, *lực đàn hồi* F_{dh} (kéo và nén) tỉ lệ với độ dãn hoặc độ nén Δl (gọi chung là độ biến dạng) của vật biến dạng: $F = k \cdot \Delta l$ với k là *hệ số đàn hồi* hay độ cứng của vật, đo bằng đơn vị N/m. k phụ thuộc kích thước và bản chất của vật đàn hồi và được tính bằng công thức:

$$k = E \frac{S}{l_0}$$

với E là *suất đàn hồi* (mô đun đàn hồi) hay *suất lãn* (mô đun lãn), đo bằng Pax-can, kí hiệu là: $P_a = 1 \text{ N/m}^2$;

S là diện tích tiết diện của vật đàn hồi (đo bằng m^2),

l_0 là chiều dài ban đầu (chiều dài tự nhiên) của vật đàn hồi (đo bằng m)

2. *Giới hạn bền của vật liệu* được xác định bởi công thức:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S}$$

với F_b là lực kéo làm đứt sợi dây làm bằng vật liệu đó, S là tiết diện ngang của dây. Giới hạn bền được tính ra N/m^2 .

Lực mà mỗi đơn vị diện tích tiết diện ngang của vật liệu có thể chịu để *đảm bảo an toàn*, có giá trị bằng:

$$F_a = \frac{\sigma_b}{n}$$

với n là hệ số an toàn của vật liệu, có trị số $1,7 \leq n \leq 10$

3. Các vật rắn nói chung nở ra khi nhiệt độ tăng lên

a) Công thức sự nở dài : $l = l_0 (1 + \alpha t)$, với l_0 , l tương ứng là chiều dài ở 0°C và $t^\circ\text{C}$; α là hệ số nở dài, đo bằng đơn vị K^{-1} (thường có giá trị $10^{-6} \div 10^{-5} \text{K}^{-1}$)

b) Công thức sự nở khối : $V = V_0 (1 + \beta t)$, với V_0 , V tương ứng là thể tích ở 0°C và $t^\circ\text{C}$; β là hệ số nở khối hay hệ số nở thể tích, đo bằng đơn vị K^{-1} .

Đối với vật đồng chất và đẳng hướng : $\beta = 3\alpha$

II. BÀI TẬP THÍ DỤ

1. Thí dụ 1. Kéo căng một sợi dây thép có chiều dài 2,5m, tiết diện thẳng $0,5 \text{ mm}^2$ bằng một lực 80N ta thấy dây thép dài thêm 2mm. Tính suất đàn hồi của thép.

A. Giải. Ta có $F = k \Delta l$ và $k = E \frac{S}{l_0}$; suy ra

$$E = \frac{F \cdot l_0}{S \cdot \Delta l}$$

Thay số : $F = 80\text{N}$; $l_0 = 2,5\text{m}$; $\Delta l = 2\text{mm} = 2 \cdot 10^{-3}\text{m}$;

$S = 0,5\text{mm}^2 = 0,5 \cdot 10^{-6}\text{m}^2$, ta có $E \approx 2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$.

B. Chú ý : Đây là loại bài toán về sự biến dạng của vật rắn. Muốn giải loại bài toán này chỉ cần áp dụng công thức về lực đàn hồi.

$$F_{dh} = E \cdot \Delta l = E \frac{S}{l_0} \Delta l$$

với chú ý rằng lực đàn hồi có độ lớn bằng lực kéo (hoặc nén) tác dụng vào vật (thường là sợi dây). Dựa vào công thức đó, tùy theo dữ liệu cho trong đề ta có thể tính được:

độ giãn (độ nén) Δl . độ giãn (độ nén) tương đối $\frac{\Delta l}{l_0}$, chiều dài ban đầu l_0 , chiều dài sau khi kéo (hoặc nén) $l_0 \pm \Delta l$ tiết diện ngang (hoặc đường kính) sợi dây, suất đàn hồi của vật liệu làm sợi dây ... Khi tính toán bằng số, cần phải chú ý đến đơn vị đo các đại lượng. Ngoài ra, biết giới hạn bền của vật liệu ta tính được lực kéo làm đứt dây : $F_b = \sigma_b \cdot S$ khi cho biết S .

2. Thí dụ 2. Một quả cầu bằng đồng có đường kính $d = 8\text{m}$ ở nhiệt độ 30°C . Tính độ tăng thể tích của quả cầu đó khi nung nóng nó tới nhiệt độ 130°C . Cho biết hệ số nở dài của đồng là $\alpha = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$.

A. Giải.

Áp dụng công thức nở khối $V = V_0(1 + \beta t)$ ta có

$$V_1 + V_0(1 + \beta t_1) \quad (1); \quad V_2 = V_0(1 + \beta t_2) \quad (2)$$

trong đó V_1 là thể tích quả cầu đang ở nhiệt độ $t_1 = 30^\circ\text{C}$:

$$V_1 = \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{1}{6} \pi d^3 \quad (3)$$

Trừ (2) cho (1) về với về ta được:

$$\Delta V = V_2 - V_1 = V_0 \beta (t_2 - t_1) \quad (4)$$

Từ (1) ta tính được V_0 theo V_1 : $V_1 : V_0 = \frac{V_1}{1 + \beta t_1} = \frac{\pi d^3}{6(1 + \beta t_1)}$

Thay giá trị đó của V_0 vào (4) và thay $\beta = 3\alpha$, ta được công thức tính độ tăng thể tích của quả cầu:

$$\Delta V = \frac{\Delta d^3}{6(1 + \beta t_1)} \cdot 3\alpha (t_2 - t_1) = \frac{\pi d^3 \cdot \alpha (t_2 - t_1)}{2 + 6\alpha t_1}$$

Thay số : $d = 8\text{cm} = 8 \cdot 10^{-2}\text{m}$; $\alpha = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$; $t_1 = 30^\circ\text{C}$;

$t_2 = 130^\circ\text{C}$, ta được : $\Delta V \approx 1,36 \text{ cm}^3$.

Vậy độ tăng thể tích quả cầu đồng bằng $1,36 \text{ cm}^3$.

B. Chú ý : Đây là loại bài toán về sự nở vì nhiệt của vật rắn. Muốn giải được bài toán này chỉ cần áp dụng công thức sự nở dài $l = l_0(1 + \alpha t)$, hoặc công thức sự nở khối $V = V_0(1 + \beta t)$, với $\beta = 3\alpha$ (trường hợp vật đồng chất và đẳng hướng). Cần lưu ý rằng công thức sự nở khối còn có thể áp dụng cho cả khối lỏng (trừ một số trường hợp đặc biệt, như nước ở một khoảng nhiệt độ nào đó), khi đó β là hệ số nở khối của chất lỏng.

Thường trong các bài toán, người ta không cho biết l_0 , hoặc V_0 (chiều dài và thể tích ở 0°C), như ở bài toán trên; khi đó bằng cách lập luận tương tự như ở trên ta vẫn giải được bài toán. Nói chung loại bài toán này khá đa dạng, nhưng chỉ cần hình dung rõ hiện tượng nêu trong đề và áp dụng các công thức đã nêu ta có thể tìm được lời giải.

3. Thí dụ 3. Tính áp lực cần đặt vào hai đầu một thanh thép có tiết diện ngang 10cm^2 để độ dài của nó giữ nguyên không thay đổi khi nhiệt độ của nó tăng từ 25°C lên đến 50°C . Cho biết hệ số nở dài của thép là $\alpha = 1,1 \cdot 10^{-5}\text{K}^{-1}$ và suất đàn hồi của thép là $E = 2 \cdot 10^{11}\text{Pa}$.

A. Giải.

Áp dụng công thức nở dài $l = l_0(1 + \alpha t_1)$, ta có $l_1 = l_0(1 + \alpha t_1)$, $l_2 = l_0(1 + \alpha t_2)$; từ đó ta tính được độ tăng chiều dài của thanh thép khi tăng nhiệt độ từ $t_1 = 25^\circ\text{C}$ lên đến

$$t_2 = 50^\circ\text{C}: \Delta l = l_0 \alpha (t_2 - t_1) = \frac{\alpha l_1 (t_2 - t_1)}{1 + \alpha t_1} \quad (1)$$

Muốn chiều dài của thanh thép không đổi ta phải tác dụng lên hai đầu thanh một áp lực (lực nén) F , sao cho độ nén của thanh thép đúng bằng Δl . Ta có

$$F = k \cdot \Delta l = E \frac{S}{l_1} \Delta l \quad (2)$$

(Vì chiều dài ban đầu của thanh thép là l_1). Từ (1) và (2) ta được

$$F = \frac{E \cdot S \cdot \alpha (t_2 - t_1)}{1 + \alpha t_1}$$

Thay số: $E = 2 \cdot 10^{11}\text{Pa}$; $S = 10\text{cm}^2 = 10 \cdot 10^{-4}\text{m}^2$; $\alpha = 1,1 \cdot 10^{-5}\text{K}^{-1}$; $t_1 = 25^\circ\text{C}$; $t_2 = 50^\circ\text{C}$, ta được $F \approx 5,5 \cdot 10^4\text{N}$.

B. Chú ý : Đây là loại bài toán đòi hỏi phải vận dụng cả các công thức về sự biến dạng vật rắn, lẫn công thức về sự nở của vật rắn. Bài toán loại này thường gặp trong thực tế. Chỉ cần biết cách giải hai loại bài toán trên và phân tích kỹ hiện tượng vật lý là có thể tìm ra lời giải.

III. BÀI TẬP LUYỆN TẬP

1.1. Tính hệ số đàn hồi của một lò xo biết rằng khi treo một vật có khối lượng $m = 1\text{kg}$ vào một đầu lò xo thì nó dài thêm $7,5\text{cm}$. Lấy $g = 9,8\text{m/s}^2$.

1.2. Một dây đồng đường kính tiết diện là $0,8\text{mm}$, dài $0,9\text{m}$. Khi kéo dài với lực 50N thì dây dãn thêm 1mm . Tính suất đàn hồi của đồng.

1.3. Khi nén hai đầu thanh thép bằng một lực $F = 3,14 \cdot 10^{15}\text{N}$ người ta thấy độ co tương đối của thanh là $12,5\%$. Tính đường kính của thanh, cho biết suất đàn hồi của thép $E = 2 \cdot 10^{11}\text{Pa}$.

1.4. Một sợi dây thép có đường kính $d = 1\text{mm}$ được căng ngang giữa hai cái đinh cách nhau một khoảng $l = 1\text{m}$. Người ta treo vào điểm giữa O của dây một vật nặng thì thấy điểm O bị hạ thấp xuống một khoảng $h = 1,25\text{cm}$. Tính khối lượng của vật treo. Lấy $g = 10\text{m/s}^2$.

1.5. Một thanh thép hình trụ, tiết diện ngang 1cm^2 , có nhiệt độ 15°C , được đặt nằm ngang giữa hai bức tường và tiếp xúc với các chân tường. Hỏi tại chỗ tiếp xúc với các bức tường thanh thép tác dụng lên tường một áp lực bằng bao

hiệu khi nhiệt độ thanh thép tăng lên đến 35°C . Cho biết hệ số nở dài và suất đàn hồi của thép tương ứng là $\alpha = 1,1 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$; $E = 2,1 \cdot 10^{11} \text{Pa}$.

1.6. Một dây nhôm có chiều dài $l = 1\text{m}$, tiết diện thẳng $S = 4\text{mm}^2$, có nhiệt độ 20°C .

a) Tính lực kéo hai đầu dây nhôm để nó giãn dài thêm $0,4\text{mm}$.

b) Nếu không kéo dây nhôm mà vẫn muốn nó giãn thêm $0,4\text{mm}$ ta phải tăng nhiệt độ dây nhôm thêm bao nhiêu độ.

c) Tính lực kéo làm đứt dây nhôm đó.

Cho biết nhôm có hệ số nở dài, suất đàn hồi và giới hạn bền tương ứng là $\alpha = 2,3 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$; $E = 7 \cdot 10^{10} \text{Pa}$; $\delta_b = 10^8 \text{N/m}^2$

1.7. Tính chiều dài của một thanh đồng ở nhiệt độ 0°C để cho độ giãn nở của nó từ 0°C đến $t^{\circ}\text{C}$ cũng bằng độ giãn nở của một thanh nhôm dài 2m từ 0°C đến $t^{\circ}\text{C}$. Cho biết hệ số giãn nở của đồng và nhôm tương ứng là $\alpha_1 = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$ và $\alpha_2 = 2,3 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$.

1.8. Một thanh kẽm và một thanh sắt có cùng chiều dài ở 0°C , nhưng khi nhiệt độ tăng lên đến 100°C người ta thấy thanh nọ dài hơn thanh kia 3mm . Tìm chiều dài của hai thanh đó ở 0°C . Cho biết hệ số nở dài của kẽm và của sắt tương ứng bằng $\alpha_1 = 3,4 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$ và $\alpha_2 = 1,14 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$.

1.9. Một băng kép kim loại, làm bằng một lá đồng và một lá sắt có cùng bề dày a và cùng chiều dài l_0 ở 0°C được hàn ở hai đầu có khe hở 1mm ở giữa. Giả thiết khi đun nóng băng kép có dạng một cung tròn. Khi đun nóng băng kép tới nhiệt độ $t = 200^{\circ}\text{C}$ thì bán kính trung bình của băng ngoài là 3m . Tính bề dày a của mỗi lá cho biết hệ số nở dài của đồng và sắt lần lượt bằng $\alpha_1 = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$ và $\alpha_2 = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$.

1.10. Người ta dùng một nhiệt lượng $Q = 8360\text{kJ}$ để đun nóng một tấm sắt có thể tích 10dm^3 ở 0°C . Tính độ tăng thể tích của tấm sắt. Cho biết hệ số nở dài, khối lượng riêng, nhiệt dung riêng của sắt lần lượt là: $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$;

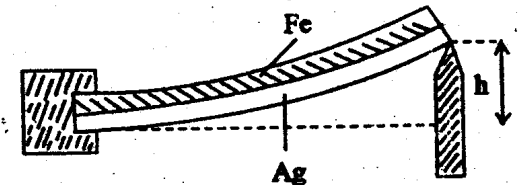
$D = 7,8 \cdot 10^3 \text{kg/m}^3$ và $C = 460 \text{J/kg.K}$

1.11. Ở 0°C một quả cầu bằng sắt nổi trong một chất lỏng đựng trong chậu với 97% thể tích quả cầu bị ngập. Hỏi khi nhiệt độ tăng lên đến $t = 40^{\circ}\text{C}$ thì có bao nhiêu phần trăm thể tích quả cầu ngập trong chất lỏng? Cho biết hệ số nở của sắt là $\alpha_1 = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$ và hệ số nở của chất lỏng là $\beta_2 = 8,2 \cdot 10^{-4} \text{K}^{-1}$.

1.12. Một băng kép kim loại, làm bằng một lá bạc và một lá sắt có cùng bề dày $a = 0,2\text{mm}$ và cùng chiều dài l được hàn ép chặt với nhau, có một đầu được kẹp chặt, còn đầu kia của băng để tự do.

Ở nhiệt độ $t_1 = 30^{\circ}\text{C}$ băng nằm ngang; người

tự đẩy cho đầu tự do vênh lên $h = 1\text{mm}$ bằng một mũi nhọn chạm vào mặt bạc (xem hình) và băng có dạng một cung tròn. Khi đun nóng băng kép người ta thấy bắt đầu từ nhiệt độ $t_2 = 280^{\circ}\text{C}$ thì băng không chạm vào mũi nhọn nữa. Tính chiều dài l của băng. Cho biết hệ số nở dài của bạc và của sắt là $\alpha_1 = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$ và $\alpha_2 = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$.



Hình 1

1.13. Một bình thủy tinh chứa đầy 100cm^3 thủy ngân ở 20°C . Hỏi khi nhiệt độ tăng tới 40°C thì lượng thủy ngân bị tràn ra ngoài có thể tích và khối lượng bằng bao nhiêu? Cho biết hệ số nở dài của thủy tinh là $\alpha_1 = 9 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$; hệ số nở khối và khối lượng riêng của thủy ngân ở 0°C tương ứng là $\beta_2 = 1,82 \cdot 10^{-4} \text{K}^{-1}$ và $D_0 = 1,36 \cdot 10^4 \text{kg/m}^3$.

1.14. Người ta muốn lắp một cái vành sắt vào một cái bánh xe bằng gỗ có đường kính 1m. Biết rằng đường kính của cái vành sắt đó nhỏ hơn đường kính của bánh xe là 5mm. Vậy phải nung vành sắt để nhiệt độ của nó tăng thêm bao nhiêu trước khi lắp vành vào bánh xe.

1.15. Một bình thủy tinh đựng đầy một chất lỏng với khối lượng $m_1 = 158\text{kg}$ ở nhiệt độ $t_1 = 20^\circ\text{C}$. Khi đun nóng tới nhiệt độ $t_2 = 80^\circ\text{C}$, người ta thấy có 6kg chất lỏng bị tràn ra ngoài. Tính hệ số nở khối β của chất lỏng. Cho biết hệ số nở dài của thủy tinh $\alpha_1 = 1,2 \cdot 10^{-5}\text{K}^{-1}$

HƯỚNG DẪN VÀ ĐÁP SỐ CÁC BÀI TẬP LUYỆN TẬP

1.1. Áp dụng công thức $F = k \Delta l$. Ở đây $F = P = mg$ (trọng lượng của vật treo vào đầu lò xo). Suy ra

$$k = \frac{F}{\Delta l} = \frac{mg}{\Delta l} = \frac{1,98}{7,5 \cdot 10^{-2}} \approx 130\text{N/m}$$

1.2. Ta có $F_{dh} = k \cdot \Delta l = E \frac{S}{l_0} \Delta l$, với $S = \frac{\pi d^2}{4}$ Suy ra

$$E = \frac{F}{\Delta l} \cdot \frac{4l_0}{\pi d^2} \approx 9 \cdot 10^{10}\text{Pa}$$

1.3. Ta có $F_{dh} = k \cdot \Delta l = \frac{ES}{l_0} \Delta l$; với $S = \frac{\pi d^2}{4}$

suy ra
$$D = 2 \sqrt{\frac{F}{\pi E} \cdot \frac{l_0}{\Delta l}} = 0,4\text{cm}$$

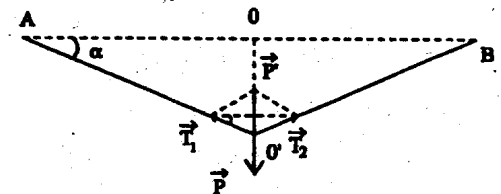
1.4. Trọng lượng $P = mg$ của vật nặng được cân bằng bởi các lực căng $\vec{T}_1, \vec{T}_2$ của dây thép; các lực căng này có cùng độ lớn T , làm cho dây thép bị dãn thêm một đoạn Δl ,

Ta có $T = K \cdot \Delta l = E \frac{S}{l} \Delta l$ (1)

Từ hình vẽ ta có: $P = P' = 2 T \sin \alpha$. Vì $H \ll l$, nên góc α là nhỏ; do đó:

$$\sin \alpha \approx \tan \alpha = \frac{h}{l_2} = \frac{2h}{l} \text{ và từ đó } P = 2 \cdot E \frac{S}{l} \Delta l \frac{2h}{l} = 4E \frac{S \Delta l \cdot h}{l^2} \quad (2)$$

Xét tam giác vuông $AO'O$ $\overline{AO'^2} = \overline{AO^2} + h^2$



Hình 2

hay $\left(\frac{1}{2} + \frac{\Delta l}{2}\right)^2 = \left(\frac{1}{2}\right)^2 + h^2$. Vì Δl nhỏ, từ đó suy ra $\Delta l \approx \frac{2h^2}{1}$

Thay các giá trị của Δl và $S = \frac{\pi d^2}{4}$ vào (2) ta được $m = \frac{2\pi E d^2 h^3}{g l^3}$

Thay số : $E = 2.10^{11} \text{Pa}$; $d = 1 \text{mm} = 10^{-3} \text{m}$; $h = 1,25 \text{cm} = 1,25.10^{-2} \text{m}$; $g = 10 \text{m/s}^2$; $l = 1 \text{m}$, ta được $m \approx 0,25 \text{kg}$.

1.5. Áp dụng công thức nở dài, ta có : $l_0 = l_0(1 + \alpha t_1)$; $l_2 = l_0(1 + \alpha t_2)$; suy ra độ tăng chiều dài Δl của thanh thép khi nhiệt độ tăng từ $t_1 = 15^\circ \text{C}$ đến $t_2 = 35^\circ \text{C}$:

$$\Delta l = l_2 - l_1 = \alpha l_0 (t_2 - t_1) = \alpha l_0 \Delta t = \frac{\alpha l_1 \Delta t}{1 + \alpha t_1} \quad (1)$$

Độ tăng chiều dài Δl tương ứng với áp lực F tác dụng lên tường, tính theo định luật Húc

$$F = k \cdot \Delta l = E \cdot \frac{S}{l_1} \cdot \Delta l \quad (2)$$

Từ (1) và (2) ta có $F = \frac{\alpha E S \Delta t}{1 + \alpha t_1}$

Thay số $\alpha = 1,1.10^{-5} \text{K}^{-1}$; $E = 2,1.10^{11} \text{Pa}$; $S = 1 \text{cm}^2 = 10^{-4} \text{m}^2$; $\Delta t = t_2 - t_1 = 20^\circ \text{C}$; $t_1 = 15^\circ \text{C}$, ta được $F \approx 4,62.10^3 \text{N}$

1.6. a) Lực kéo F được tính theo định luật Húc

$$F = k \cdot \Delta l = ES \cdot \frac{\Delta l}{l}$$

Thay số : $E = 7.10^{10} \text{Pa}$; $S = 4 \text{mm}^2 = 4.10^{-6} \text{m}^2$; $\Delta l = 0,4 \text{mm} = 4.10^{-4} \text{m}$; $l = 1 \text{m}$, ta được $F = 112 \text{N}$.

b) Áp dụng công thức nở dài $l_1 = l_0(1 + \alpha t_1)$, $l_2 = l_0(1 + \alpha t_2)$ suy ra $\Delta l = l_0 \cdot \alpha \Delta t \frac{l_1 \cdot \alpha \Delta t}{1 + \alpha t_1}$. Từ đó $\Delta t = \frac{\Delta l(1 + \alpha t_1)}{l_1 \cdot \alpha}$, với $l_1 =$

1m. Thay số ta được $\Delta t \approx 17,4^\circ \text{C}$

c) Áp dụng công thức $\sigma_b = \frac{F_b}{S}$, ta tính được lực kéo làm đứt dây nhôm đó:

$$F_b = \sigma_b \cdot S = 10^8 \cdot 4.10^{-6} = 400 \text{N}$$

1.7. Độ giãn nở của thanh đồng từ 0°C đến $t^\circ \text{C}$:

$$\Delta l_1 = l_1 - l_0 = l_{01} \cdot \alpha_1 \cdot t$$

Độ giãn nở của thanh nhôm từ 0°C đến $t^\circ \text{C}$:

$$\Delta l_2 = l_2 - l_{02} = l_{02} \cdot \alpha_2 \cdot t$$

Theo đề bài $\Delta l_1 = \Delta l_2$, suy ra $l_{01} \cdot \alpha_1 \cdot t = l_{02} \cdot \alpha_2 \cdot t$

hay $l_{01} = \frac{l_{02} \cdot \alpha_2}{\alpha_1} = \frac{2,23.10^{-5}}{1,7.10^{-5}} = 2,71 \text{m}$

1.8. Gọi l_0 là chiều dài của thanh kẽm và thanh sắt ở 0°C . Chiều dài của hai thanh đó ở $t = 100^\circ \text{C}$ tương ứng bằng

$l_1 = l_0(1 + \alpha_1 t)$ và $l_2 = l_0(1 + \alpha_2 t)$. Theo đề bài vì $\alpha_1 > \alpha_2$ nên $l_1 > l_2$ và ta có :

$$l_1 - l_2 = l_0(\alpha_1 - \alpha_2)t; \text{ từ đó } l_0 = \frac{l_1 - l_2}{(\alpha_1 - \alpha_2)t}$$

Theo đề bài $l_2 - l_1 = 3 \text{mm} = 3.10^{-3} \text{m}$.

Ta có $l_0 = \frac{3.10^{-3}}{(3,4 - 1,14)10^{-5} \cdot 100} \approx 1,327 \text{m}$

1.9. Gọi R_1 và R_2 là bán kính trung bình của băng (lá) đồng là băng sắt khi nóng tới nhiệt độ t . Vì $\alpha_1 > \alpha_2$ nên $R_1 > R_2$. Hai băng có dạng hai cung tròn với cùng góc ở tâm là góc φ . Chiều dài của hai băng ở nhiệt độ t là : $l_1 = l_0(1 + \alpha_1 t) = R_1 \cdot \varphi$;

$$l_2 = l_0(1 + \alpha_2 t) = R_2 \cdot \varphi.$$

Từ đó
$$\frac{R_1}{1+\alpha_1 t} = \frac{R_2}{1+\alpha_2 t} = \frac{R_1 - R_2}{(\alpha_1 - \alpha_2)t}$$

Rút ra:
$$R_1 - R_2 = \frac{R_1(\alpha_1 - \alpha_2)t}{1+\alpha_1 t}$$

Theo đề bài $R_1 = 3m$, $R_2 = R_1 - (a + 1mm)$ (vì bề dày mỗi lá bằng a và giữa hai lá có khe hở $1mm$); $\alpha_1 = 1,7 \cdot 10^{-5} K^{-1}$; $\alpha_2 = 1,2 \cdot 10^{-5} K^{-1}$; $t = 200^\circ C$ suy ra

$$a = \frac{3(1,7 - 1,2) \cdot 10^{-5} \cdot (2 \cdot 10^{-2})}{1 + 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \cdot 10^{-2}} - 10^{-3} \approx 2 \cdot 10^{-3} m \rightarrow a = 2mm$$

1.10. Ta có $V = V_0(1 + \beta t)$, với $\beta = 3\alpha$

Độ tăng thể tích $\Delta V = V - V_0 = V_0 \beta t$ (1)

Mặt khác $Q = mc(t - 0) = mct$; với $m = DV_0$, từ đó

$$t = \frac{Q}{mc} = \frac{Q}{DV_0 c} \quad (2). \text{ Từ (1) và (2) ta có}$$

$$\Delta V = V_0 \beta t = V_0 \beta \cdot \frac{Q}{DV_0 c} = \frac{\beta Q}{Dc} = \frac{3\alpha Q}{Dc}$$

Thay số: $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} K^{-1}$; $Q = 8360kJ = 8,36 \cdot 10^6 J$; $D = 7,8 \cdot 10^3 kg/m^3$; $c = 460 J/kg \cdot K$, ta được:

$$\Delta V = \frac{3 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 8,36 \cdot 10^6}{7,8 \cdot 10^3 \cdot 460} = 83,9 \cdot 10^{-6} m^3 = 83,9 \cdot 10^{-3} dm^3$$

1.11. Trước hết ta xét sự biến đổi theo nhiệt độ của khối lượng riêng của một vật rắn có khối lượng m .

Ta có: $m = D_0 V_0 = DV$, với D_0, V_0, D, V tương ứng là khối lượng riêng và thể tích của vật ở $0^\circ C$ và $t^\circ C$. Mặt khác $V = V_0(1 + \beta t)$. Từ đó $D = \frac{D_0}{1+\beta t}$.

Đối với khối lỏng ta cũng có công thức tương tự. Bây giờ ta gọi: V_0 và V là thể tích của quả cầu ở $0^\circ C$ và $t = 40^\circ C$; n_0 và n là phần thể tích bị ngập của quả cầu ở $0^\circ C$ và $t^\circ C$. Ở $0^\circ C$, thể tích của phần quả cầu ngập trong chất lỏng bằng $n_0 V_0$, với $n_0 = 97\% = 0,97$. Khi quả cầu cân bằng, lực đẩy Acsimet bằng trọng lượng của vật, nghĩa là: $(n_0 V_0) D_{02} g = V_0 D_{01} g$, với D_{01}, D_{02} tương ứng là khối lượng riêng của sắt và của chất lỏng ở $0^\circ C$.

Từ đó ta có $n_0 D_{02} = D_{01}$ (1).

Tương tự ở $t = 40^\circ C$, ta có: $(nV) D_2 g = VD_1 g$ hay $nD_2 = D_1$ (2).

Biết $D_1 = \frac{D_{01}}{1+\beta_1 t}$, $D_2 = \frac{D_{02}}{1+\beta_2 t}$ (β_1 và β_2 tương ứng là hệ số nở khối của sắt và của chất lỏng), ta có

$$n \frac{D_{02}}{1+\beta_2 t} = \frac{D_{01}}{1+\beta_1 t} \quad (3)$$

Lấy (3) chia cho (2) vế với vế, ta suy ra $n = \frac{n_0(1+\beta_2 t)}{1+\beta_1 t}$

Thay số $n_0 = 0,97$; $\beta_2 = 8,2 \cdot 10^{-4} K^{-1}$;

$\beta_1 = 3\alpha_1 = 3 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} K^{-1}$, $t = 40^\circ C$, ta được $n \approx 1,00167 \approx 1$; quả cầu lơ lửng trong chất lỏng.

1.12. Góc ở tâm tương ứng với cung tròn tạo bởi băng kép là φ_0 . Vì h nhỏ nên

$$\sin \frac{\varphi_0}{2} \approx \tan \frac{\varphi_0}{2} \approx \frac{\varphi_0}{2} \approx \frac{h}{l_0} \text{ hay } \varphi_0 \approx 2 \frac{h}{l_0} \quad (1)$$

Khi nung nóng băng vênh thành cung tròn với góc ở tâm φ . Ở nhiệt độ $t_2 = 280^\circ C$ thì $\varphi = \varphi_0$ và bán kính cong của băng kép là R , bán kính cong của lá bạc bằng $R + \frac{a}{2}$, và bán kính của lá sắt bằng $R - \frac{a}{2}$. Từ công thức sự nở dài $l = l_0(1 + \alpha t)$,

ta tìm được biểu thức của chiều dài của lá bạc và lá sắt ở $t_2 = 280^\circ\text{C}$ (biết chiều dài của chúng ở $t_1 = 30^\circ\text{C}$ bằng l_0) tương ứng bằng:

$$l_1 = l_0 \frac{1 + \alpha_1 t_2}{1 + \alpha_1 t_1}; l_2 = l_0 \frac{1 + \alpha_2 t_2}{1 + \alpha_2 t_1} \quad (2)$$

Vì góc ở tâm là $\varphi = \varphi_0$, nên ta cũng có:

$$l_1 = \left(R + \frac{a}{2}\right) \varphi_0 \text{ và } l_2 = \left(R - \frac{a}{2}\right) \varphi \quad (3)$$

Từ (2) và (3) ta có:

$$l_0 \frac{1 + \alpha_1 t_2}{1 + \alpha_1 t_1} = \left(R + \frac{a}{2}\right) \varphi_0 \quad (4)$$

$$l_0 \frac{1 + \alpha_1 t_2}{1 + \alpha_1 t_1} = \left(R - \frac{a}{2}\right) \varphi_0 \quad (5)$$

Từ (4), (5) và (1) ta rút ra:

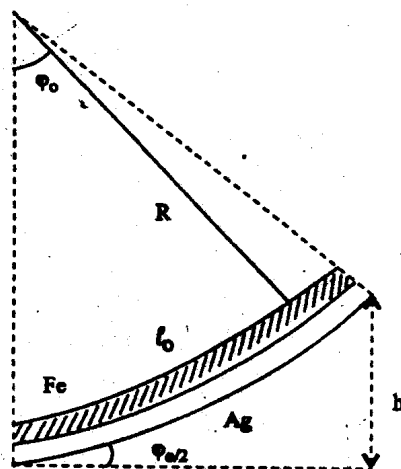
$$l_0 \left(\frac{1 + \alpha_1 t_2}{1 + \alpha_1 t_1} \right) - l_0 \left(\frac{1 + \alpha_1 t_2}{1 + \alpha_1 t_1} \right) = a \varphi_0 = \frac{2ah}{l_0}$$

Thay số: $\alpha_1 = 16 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$; $\alpha_2 = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$; $t_2 = 280^\circ\text{C}$; $t_1 = 30^\circ\text{C}$; $a = 0,2 \text{ mm} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}$; $h = 1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$, ta được $l_0 \approx 2 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 2 \text{ cm}$

1.13. Áp dụng công thức nở thể tích $V = V_0(t + \beta t_1)$, $V_2 = V_0(1 + \beta t_2)$ ta tìm được độ tăng thể tích khi nhiệt độ tăng từ t_1 đến t_2 :

$$\Delta V = V_2 - V_1 = V_0 \beta (t_2 - t_1) = \frac{V_1}{1 + \beta t_1} \beta (t_2 - t_1) \approx V_1 \beta (t_2 - t_1)$$

(Khi $t_2 - t_1$ không lớn). Gọi V là thể tích của bình thủy tinh ở $t_1 = 20^\circ\text{C}$, ta tìm được:



Hình 2

Độ tăng dung tích của bình thủy tinh $\Delta V_1 = \beta_1 \cdot V (t_2 - t_1)$;

Độ tăng thể tích của thủy ngân: $\Delta V_2 = \beta_2 \cdot V (t_2 - t_1)$;

Thể tích thủy ngân tràn ra:

$$\Delta V = \Delta V_2 - \Delta V_1 = (\beta_2 - \beta_1) \cdot V (t_2 - t_1);$$

Thay số: $\beta_2 = 1,82 \cdot 10^{-4} \text{K}^{-1}$; $\beta_1 = 3 \alpha_1 = 3 \cdot 9 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$

$V = 100 \text{ cm}^3$; $t_1 = 20^\circ\text{C}$; $t_2 = 40^\circ\text{C}$ ta được $\Delta V = 0,31 \text{ cm}^3$

Thể tích lượng thủy ngân tràn ra $\Delta V = 0,31 \text{ cm}^3$

Để tìm khối lượng riêng D_2 của thủy ngân ở $t_2 = 40^\circ\text{C}$ ta áp dụng công thức $D_2 = \frac{D_0}{1 + \beta_2 t_2}$ (Xem bài 1.11), từ đó khối lượng thủy ngân tràn ra bằng:

$$\Delta m = D_2 \cdot \Delta V = \frac{D_0 \cdot \Delta V}{1 + \beta_2 t_1} \approx \frac{1,36 \cdot 10^4 \cdot 0,31 \cdot 10^{-6}}{1,00728}$$

$$\Delta m \approx 4,19 \text{ g}$$

1.14. Phải tăng nhiệt độ của vành từ t_1 đến t_2 , nghĩa là tăng thêm nhiệt độ của vành một lượng $\Delta t = t_2 - t_1$ để đường kính của vành tăng thêm $\Delta d = 5 \text{ mm} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Ta có: $l_1 = \pi d_1 = \pi d_0 (1 + \alpha t_1)$, $l_2 = \pi d_2 = \pi d_0 (1 + \alpha t_2)$,

$$\text{từ đó } \frac{d_2}{d_1} = \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1} \approx 1 + \alpha (t_2 - t_1) = 1 + \alpha \Delta t$$

và suy ra $d_2 - d_1 = \Delta d = \alpha d_1 \cdot \Delta t$

$$\text{hay } \Delta t = \frac{\Delta d}{\alpha \cdot d_1} \approx 417^\circ\text{C}$$

1.15. Chất lỏng bị tràn ra bình, điều đó chứng tỏ chất lỏng giãn nở nhiều hơn bình: $\beta > 3 \alpha_1$.

Thể tích của bình ở $t_1 = 20^\circ\text{C}$ đúng bằng thể tích của khối lỏng $m_1 = 158\text{kg}$ ở $t_1 = 20^\circ\text{C}$. Gọi là khối lượng riêng của chất lỏng ở 0°C , khối lượng riêng của chất lỏng ở nhiệt độ t_1 và t_2 là:

$$D_1 = \frac{D_0}{1 + \beta t_1}, \quad D_2 = \frac{D_0}{1 + \beta t_2}$$

Thể tích của bình ở $t_1 = 20^\circ\text{C}$ bằng $V_1 = \frac{m_1}{D_1} = \frac{m_1(1 + \beta t_1)}{D_0}$

Gọi V_0 là thể tích của bình ở 0°C , thì ta lại có

$$V_1 = V_0(1 + \beta_1 t_1), \text{ với } \beta_1 = 3\alpha_1, \text{ nghĩa là } V_1 = V_0(1 + 3\alpha_1 t_1)$$

$$\text{Từ đó ta có } V_0(1 + 3\alpha_1 t_1) = \frac{m_1(1 + \beta t_1)}{D_0} \quad (1)$$

Xét bình và khối lỏng ở nhiệt độ t_2 .

$$\text{Thể tích của bình ở nhiệt độ } t_2: V_2 = V_0(1 + 3\alpha_1 t_2)$$

Vì có 6kg chất lỏng bị tràn ra, nên V_2 cũng là thể tích của $m_2 = m_1 - 6 = 152\text{kg}$ chất lỏng ở nhiệt độ t_2 , tức là bằng

$$V_2 = \frac{m_2}{D_2} = \frac{m_2(1 + \beta t_2)}{D_0}. \text{ Từ đó ta có}$$

$$(1 + 3\alpha_1 t_2) = \frac{m_2(1 + \beta t_2)}{D_0} \quad (2)$$

Từ (1) và (2) suy ra (bỏ qua các lượng nhỏ chứa $\alpha_1 \beta$)

$$\beta = \frac{m_1 - m_2 + 3\alpha_1(m_1 t_2 - m_2 t_1)}{m_2 t_2 - m_1 t_1}$$

Thay số ta được $\beta \approx 7.10^{-4}\text{K}^{-1}$.

§2. CHẤT LỎNG

I.KIẾN THỨC CẦN NHỚ

A. KIẾN THỨC CƠ BẢN

1. Khối chất lỏng có thể tích xác định song không có hình dạng riêng. Khi khối chất lỏng ở gần mặt đất, dưới tác dụng của trọng lực, nó có hình dạng của thành bình đựng, mặt thoáng thường là mặt phẳng ngang. Khi ở trạng thái không trọng lượng hay chịu tác dụng của những ngoại lực cân bằng thì khối chất lỏng có dạng hình cầu.

2. Mật độ phân tử trong chất lỏng lớn gấp nhiều lần chất khí và gần bằng chất rắn. Khoảng cách giữa các phân tử trong chất lỏng vào khoảng bằng kích thước phân tử, nhỏ hơn nhiều so với chất khí, vì thế phân tử trong chất lỏng dao động hỗn độn xung quanh một vị trí cân bằng, sau một thời gian cư trú nhất định thì chuyển sang vị trí mới lân cận. Nhiệt độ tăng, dao động nhiệt tăng và thời gian cư trú giảm.

Chất lỏng ở nhiệt độ cao có cấu trúc gần giống chất khí; ở nhiệt độ không cao nó gần giống chất vô định hình.

3. Mặt ngoài chất lỏng có xu hướng co về diện tích nhỏ nhất, xu hướng này đã gây nên những hiện tượng giống như khối lỏng được bao bằng một *màng căng*. Để đặc trưng cho màng căng mặt ngoài người ta đưa ra đại lượng gọi là *lực căng mặt ngoài*. Lực căng mặt ngoài có phương tiếp tuyến với mặt thoáng chất lỏng, vuông góc với đường giới hạn mặt thoáng và có chiều sao cho thu nhỏ diện tích mặt ngoài của chất lỏng, có cường độ tính bằng công thức:

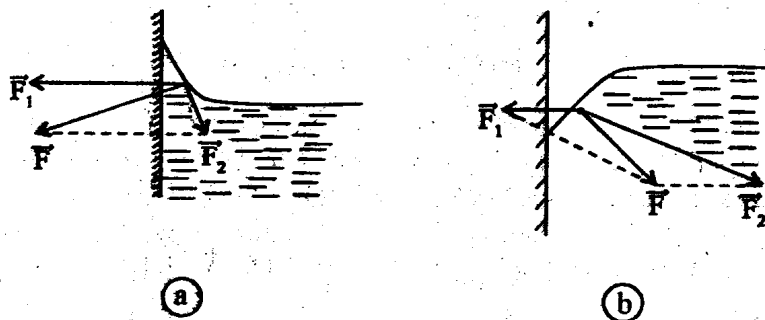
$$F = \sigma l$$

Trong đó l là chiều dài của đường giới hạn mặt ngoài chất lỏng; σ là *hệ số căng mặt ngoài* (hay suất căng mặt ngoài) của chất lỏng, đo bằng niuton trên mét (N/m). Hệ số căng mặt ngoài phụ thuộc vào bản chất và nhiệt độ của

chất lỏng; khi nhiệt độ tăng, hệ số căng mặt ngoài của chất lỏng giảm đi (và triệt tiêu ở nhiệt độ tới hạn).

4. Khi chất lỏng tiếp xúc với vật rắn có thể xảy ra hiện tượng *dính ướt* hoặc *không dính ướt*.

Hiện tượng dính ướt xảy ra khi lực hút ($\vec{F}_1$) giữa các phân tử chất rắn và chất lỏng mạnh hơn lực hút giữa các phân tử chất lỏng với nhau ($\vec{F}_2$); hiện tượng dính ướt làm cho mặt chất lỏng ở gần thành bình bị kéo lên trở thành mặt lõm (Hình 2.1a). ($\vec{F}$ là hợp $\vec{F}_1$ và $\vec{F}_2$); chẳng hạn, nước làm dính ướt thủy tinh.

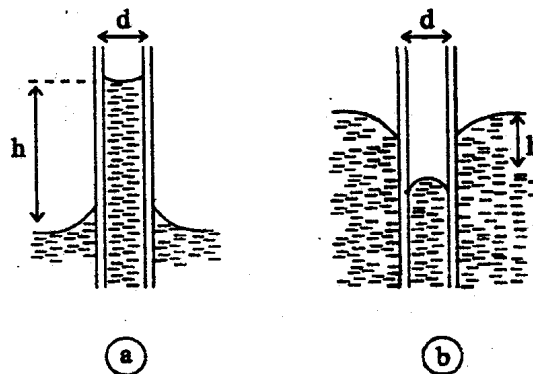


Hình 2.1

Hiện tượng không dính ướt xảy ra khi lực hút giữa các phân tử chất lỏng với nhau ($\vec{F}_2$) lớn hơn lực hút giữa các phân tử chất rắn và chất lỏng ($\vec{F}_1$); Hiện tượng không dính ướt làm cho mặt chất lỏng ở gần thành bình bị đẩy xuống trở thành mặt lồi (Hình b); chẳng hạn thủy ngân không dính ướt thủy tinh.

5. Hiện tượng căng mặt ngoài và sự dính ướt hoặc không dính ướt dẫn tới hiện tượng *mao dẫn*: mực chất lỏng trong các ống có tiết diện nhỏ (được gọi là *ống mao dẫn* hay *mao quản*) dâng cao hơn hoặc hạ thấp xuống so với mực chất lỏng trong bình (hoặc chậu) một khoảng h .

Trong trường hợp thành ống bị dính ướt hoàn toàn (Hình 2.2a) hoặc hoàn toàn không bị dính ướt (Hình 2.2b) h được tính theo công thức (Công thức Juyranh)



Hình 2.2

$$h = \frac{4\sigma}{Dg}$$

Trong đó D là khối lượng riêng của chất lỏng, d là đường kính trong của ống mao dẫn; g là gia tốc trọng trường. Chú ý rằng công thức này chỉ áp dụng cho trường hợp ống mao dẫn hở ở đầu trên.

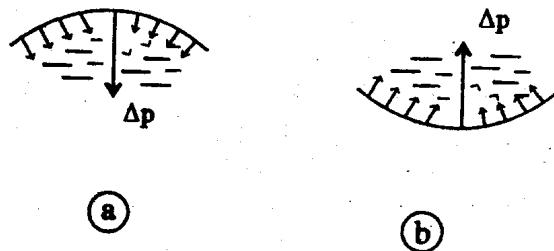
B. KIẾN THỨC BỔ SUNG

1. **Năng lượng mặt ngoài của chất lỏng.** Do chuyển động nhiệt các phân tử ở lớp mặt ngoài (có bề mặt vào khoảng vài lần kích thước phân tử, cùng bậc độ lớn với khoảng cách có hiệu lực của lực tương tác giữa các phân tử chất lỏng) có thể di chuyển vào trong khối lỏng, và ngược lại, có những phân tử khối lỏng chuyển đến lớp mặt ngoài. *Cần tiêu thụ công* trong việc di chuyển các phân tử ra lớp mặt ngoài, công này làm tăng thế năng của các phân tử đó. **Năng lượng mặt ngoài** là toàn bộ phần thế năng tăng thêm khi những phân tử chất lỏng tạo thành lớp mặt ngoài. Nếu diện tích mặt ngoài tăng thêm thì có nghĩa là đã có thêm những phân tử từ trong lòng khối lỏng chuyển đến lớp mặt ngoài để tạo thêm phần mặt ngoài mới. Công tiêu thụ trong trường hợp này đã làm tăng thêm năng lượng mặt ngoài. Nếu diện tích mặt ngoài giảm đi thì xảy ra các quá trình ngược lại. Nếu gọi ΔA là công thực hiện để tạo thêm diện tích ΔS của mặt ngoài để tạo thêm diện tích ΔS của mặt ngoài thì: $\Delta A = \sigma \Delta S$.

Đó cũng chính là độ tăng ΔW của năng lượng mặt ngoài: $\Delta W = \sigma \Delta S$. Trong trường hợp diện tích mặt ngoài giảm đi một lượng ΔS thì ΔW là độ giảm năng lượng mặt ngoài. Trong công thức trên, σ đo bằng N/m, còn ΔS đo bằng m^2 , ΔW đo bằng Jun. Nếu S là toàn bộ diện tích mặt ngoài, thì năng lượng mặt ngoài là $W = \sigma S$.

2. Áp suất phụ Δp gây bởi mặt cong của khối lỏng.

Vì lớp mặt ngoài khối lỏng có tính chất của một màng cong, nên vì lý do nào đó màng không phẳng mà bị cong đi, thì, do các lực căng (lực căng mặt ngoài) kéo màng trở về phẳng, màng sẽ tác dụng lên khối lỏng một áp suất gọi là **áp suất phụ**.



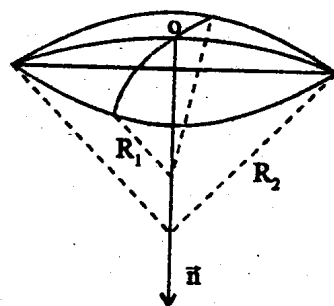
Hình 2.3

Màng lõm sẽ tạo ra áp suất phụ nén lên khối lỏng ở dưới (Hình 2.3a); còn màng lồi sẽ tạo ra áp suất phụ hướng ra ngoài khối lỏng (Hình 2.3b).

Độ lớn của áp suất phụ được tính theo công thức Laplace:

$$\Delta p = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Trong đó R_1 và R_2 là bán kính cong (bán kính chính khúc) của hai giao tuyến do mặt ngoài khối lỏng bị cắt bởi



Hình 2.4

hai mặt phẳng vuông góc với nhau chứa pháp tuyến với mặt ngoài tại điểm O đang khảo sát. Thường chọn cặp mặt phẳng vuông góc chứa pháp tuyến tại O của mặt ngoài, sao cho ta có hai giao tuyến, mà một giao tuyến có bán kính cong cực đại và giao tuyến kia có bán kính cong cực tiểu.

Khi mặt ngoài khối lỏng là mặt cầu (như bong bóng xà phòng, bọt khí trong chất lỏng ...) thì $R_1 = R_2 = R$ và

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{R}, \text{ với } R \text{ là bán kính mặt cầu.}$$

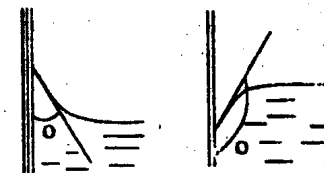
Khi mặt ngoài khối lỏng là mặt trụ thì $R_1 = R$; $R_2 = \infty$ và $\Delta p = \frac{\sigma}{R}$, với R là bán kính của đáy mặt trụ.

Chú ý: Có thể tìm được

công thức $\Delta p = \frac{2\sigma}{R}$

Nếu xem Δp là áp suất do lực căng mặt ngoài tác dụng lên mặt chất lỏng:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{\sigma l}{\pi R^2} = \frac{2\pi R \cdot \sigma}{\pi R^2} = \frac{2\sigma}{R}$$



Hình 2.5

3. Công thức Juyranh tổng quát:

Độ dâng lên (hay hạ xuống) của mực chất lỏng trong ống mao dẫn: $h = \frac{4\sigma \cos \theta}{D_{gh}}$

Trong đó θ là góc giữa thành ống và tiếp tuyến của mặt chất lỏng (góc mép). Trường hợp dính ướt hoàn toàn $\theta = 0$; trường hợp hoàn toàn không dính ướt: $\theta = \pi$. Trường hợp dính ướt không hoàn toàn $0 < \theta < \pi$.

II. BÀI TẬP THÍ DỤ

1. Thí dụ 1. Cho 2cm^3 nước vào trong một ống nhỏ giọt có đường kính miệng $d = 0,4\text{mm}$, người ta nhỏ được tất cả 200 giọt. Tính hệ số căng mặt ngoài của nước. Lấy $g = 9,8\text{m/s}^2$.

A. Giải.

Quan sát và phân tích hiện tượng nước chảy ra ở ống nhỏ giọt ta thấy: đầu tiên giọt nước to dần nhưng chưa rơi xuống, đó là vì có các lực căng mặt ngoài tác dụng lên đường biên BB' của giọt nước, các lực này có xu hướng kéo co mặt ngoài của giọt nước lại, vì thế hợp lực của chúng hướng lên trên và có độ lớn $F = \sigma l$, với $l = \pi d$, (d là đường kính miệng). Đúng lúc giọt nước tách ra và rơi xuống thì trọng lượng P của giọt nước bằng lực căng mặt ngoài F . $F = P$, suy ra

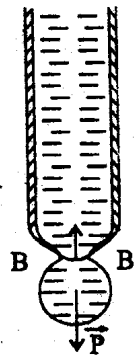
$$\sigma \pi d = mg, \quad \text{hay } \sigma = \frac{mg}{\pi d} \quad (1)$$

với m là khối lượng của 1 giọt nước. Theo đề bài 2cm^3 chứa 200 giọt nước, khối lượng 2cm^3 nước bằng 2 g; vì vậy khối lượng một giọt nước bằng $m = \frac{2\text{g}}{200} = 0,01\text{g} = 10^{-5}\text{kg}$

$$\text{Thay số vào (1) ta được: } \sigma = \frac{9,8 \cdot 10^{-5}}{3,14 \cdot 0,4 \cdot 10^{-3}} \approx 0,078\text{N/m}$$

Hệ số căng mặt ngoài của nước bằng $0,078\text{N/m}$.

B. Chú ý: Đây là loại bài toán áp dụng công thức tính lực căng mặt ngoài $F = \sigma l$. Biết F (cho trực tiếp giá trị của F ngay trong đề bài hoặc cho gián tiếp như trong ví dụ) ta tìm được hoặc σ (nếu cho l), hoặc l (nếu cho σ). Và ngược lại nếu cho σ và l ta tính được F . Để tìm được l ,



Hình 2.6

cần dựa vào đề bài mà xác định đường giới hạn của mặt ngoài chất lỏng. Nói chung loại bài toán này khá đa dạng, và thường gặp khó khăn ở khâu xác định lực căng F . Cần chú ý đến các đơn vị đo khi tính toán bằng số.

2. Thí dụ 2. Một ống thủy tinh hình trụ có đường kính bên trong là $d = 0,5\text{mm}$.

a) Tính độ cao mực nước dâng lên trong ống đó khi nhúng thẳng đứng nó vào nước.

b) Nhúng thẳng đứng ống đó vào thủy ngân ta thấy độ hạ mực thủy ngân trong ống là $h_2 = 28\text{mm}$. Tính hệ số căng mặt ngoài của thủy ngân.

Cho biết: Hệ số căng mặt ngoài và khối lượng riêng của nước lần lượt bằng $\sigma_1 = 7,3 \cdot 10^{-2}\text{N/m}$; $D_1 = 1000\text{kg/m}^3$, khối lượng riêng của thủy ngân là $D_2 = 13,6 \cdot 10^3\text{kg/m}^3$. Lấy $g = 9,8\text{m/s}^2$

A. Giải.

a) Áp dụng công thức: $h_1 = \frac{4\sigma}{D_1 g}$. Thay số:

$$\sigma = 7,3 \cdot 10^{-2}\text{N/m}; D_1 = 1000\text{kg/m}^3; g = 9,8\text{m/s}^2$$

$$d = 0,5\text{mm} = 5 \cdot 10^{-4}\text{m}, \text{ ta được: } h_1 \approx 5,96 \cdot 10^{-2}\text{m} = 59,6\text{mm}.$$

b) Độ hạ xuống h_2 của mực thủy ngân trong ống được tính theo công thức:

$$h_2 = \frac{4\sigma_2}{D_2 g}$$

với σ_2 là hệ số căng mặt ngoài của thủy ngân, suy ra:

$$\sigma_2 = \frac{h_2 D_2 g}{4} \quad \text{Thay số: } h_2 = 28\text{mm} = 2,8 \cdot 10^{-2}\text{m};$$

$$D_2 = 13,6 \cdot 10^3\text{kg/m}^3; g = 9,8\text{m/s}^2; d = 0,5\text{mm} = 5 \cdot 10^{-4}\text{m}$$

$$\text{ta được } \sigma_2 \approx 0,47\text{N/m}.$$

c) **Chú ý:** Đây là loại bài toán áp dụng công thức:

$$h = \frac{4\sigma}{D\gamma h}$$

Từ công thức đó ngoài việc có thể xác định h , σ như ở bài tập ví dụ, còn có thể xác định d , D . Cần lưu ý rằng công thức đó chỉ áp dụng được cho trường hợp dính ướt hoàn toàn, hoặc hoàn toàn không dính ướt (như ở ví dụ trên); còn nếu chỉ dính ướt một phần thì áp dụng công thức Juyranh tổng quát (khi đó đề bài phải cho biết θ nếu đòi hỏi phải tính h , và ngược lại cho h có thể tính góc mép θ).

3. **Thi dụ 3.** Tính năng lượng toả ra khi các giọt nước nhỏ có đường kính $d_1 = 0,004$ mm tụ lại thành một giọt nước có đường kính $d_2 = 4$ mm. Hỏi khi đó độ tăng nhiệt độ của nước là bao nhiêu. Cho biết suất căng mặt ngoài của nước là $\sigma = 0,037$ N/m; nhiệt dung riêng của nước $c = 4,8.10^3$ J/kg.K.

A. Giải.

a) Gọi N là số giọt nước nhỏ đã tụ lại để thành một giọt nước lớn. Năng lượng toả ra bằng độ biến thiên của năng lượng mặt ngoài khi N giọt nước nhỏ tụ lại thành một giọt nước lớn. N giọt nước nhỏ có diện tích mặt ngoài là $S_1 = N.4\pi r_1^2$ và có năng lượng mặt ngoài $W_1 = \sigma S_1 = 4N\sigma\pi r_1^2$ giọt nước lớn có diện tích mặt ngoài là $S_2 = 4\pi r_2^2$ và có năng lượng mặt ngoài là $W_2 = \sigma S_2 = 4\sigma\pi r_2^2$.

Khi N giọt nước nhỏ tụ lại thành giọt nước lớn thì năng lượng mặt ngoài đã thay đổi một lượng là:

$$\Delta W = W_1 - W_2 = \sigma(S_1 - S_2) = 4\sigma\pi r_2^2.$$

Vì tổng thể tích của N giọt nước nhỏ bằng thể tích của một giọt nước lớn, ta có:

$$N \cdot \frac{4}{3}\pi r_1^3 = \frac{4}{3}\pi r_2^3; \quad \text{từ đó} \quad N = \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^3$$

$$\text{và do đó:} \quad \Delta W = 4\sigma\pi r_2^2 \left(\frac{r_2^2}{r_1^2} - 1\right) = \sigma\pi d_2^2 \left(\frac{d_2}{d_1} - 1\right)$$

Vì $\frac{d_2}{d_1} > 0$ nên $\Delta W > 0$, $W_1 > W_2$ điều đó chứng tỏ quá trình trên giải phóng năng lượng. Thay số: $\sigma = 0,073$ N/m; $d_2 = 4\text{mm} = 4.10^{-3}$ m; $d_1 = 0,004$ mm = 4.10^{-6} m; ta được $\Delta W = 3,66.10^{-3}$ J.

Vậy năng lượng toả ra bằng $3,66.10^{-3}$ J.

b) Phần năng lượng được giải phóng do sự giảm diện tích mặt ngoài sẽ làm nóng giọt nước lên ΔT độ:

$$\Delta W = Q = mc \cdot \Delta T$$

Trong đó m là khối lượng giọt nước lớn, $m = \frac{\pi d_2^3}{6} \cdot D$ (D là khối lượng riêng của nước); c là nhiệt dung riêng của nước.

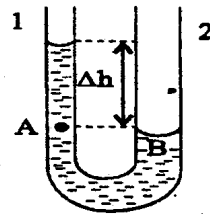
$$\text{Từ đó:} \quad \Delta t = \frac{\Delta W}{mc} = \frac{\sigma \Delta W}{\pi d_2^3 \cdot Dc}$$

Thay số ($D = 10^3$ kg/m³) ta được $\Delta t = 0,026 \approx 0,03^\circ$.

Nhiệt độ của nước đã tăng thêm $0,03^\circ$.

c) **Chú ý:** Đây là loại bài toán về năng lượng mặt ngoài, cần áp dụng công thức $W = \sigma S$, hoặc $\Delta W = \sigma \Delta S$. Để giải được bài toán cần xác định được S hoặc ΔS , từ đó tìm được ΔW . Và ngược lại nếu biết ΔW có thể tính được ΔS (nếu cho biết σ) hoặc tính được σ (nếu xác định được ΔS). Khi tính toán bằng số, cần chú ý đến các đơn vị đo (đặc biệt cần chú ý là S , ΔS phải tính ra m²). Tương tự như ở ví dụ nêu trên, đôi khi bài toán đòi hỏi phải tính các đại lượng khác sau khi tìm được ΔW , hoặc dựa vào các dữ kiện khác mà tìm được ΔW , từ đó mới vận dụng tiếp công thức tính năng lượng mặt ngoài. Trong trường hợp đó cần hình dung được hiện tượng và vận dụng công thức thích hợp (chẳng hạn như công thức tính nhiệt lượng, như ở ví dụ trên, hoặc công thức của định luật bảo toàn năng lượng...).

4. **Thí dụ 4.** Hai nhánh 1 và 2 của một ống mao dẫn hình chữ U có đường kính trong lần lượt là $d_1 = 2\text{mm}$ và $d_2 = 4\text{mm}$. Sau khi đổ nước vào ống người ta thấy hiện tượng mực nước trong hai nhánh bằng $\Delta h = 7\text{mm}$ (Hình 2.7). Tính suất căng mặt ngoài của nước. Xem nước làm dính ướt hoàn toàn thành ống. Lấy $g = 9,81\text{m/s}^2$.



Hình 2.7

A. Giải.

Vì nước làm dính ướt hoàn toàn thành ống nên mực nước trong nhánh 1 (nhánh nhỏ) của ống mao dẫn hình chữ U cao hơn mực nước trong nhánh 2 (nhánh lớn) một đoạn bằng Δh và các mặt khum của nước ở các nhánh này là các phần mặt cầu. Xét một điểm B ở sát dưới mặt khum ở nhánh 2 và một điểm A ở nhánh 1 của ống mao dẫn nằm trên cùng mặt phẳng ngang với B. Khi cột nước trong ống mao dẫn đã thăng bằng, thì áp suất P_A ở A bằng áp suất P_B ở B: $P_A = P_B$ (1)

Ta biết áp suất P_A bằng tổng của áp suất khí quyển P_0 , áp suất gây bởi cột nước Δh ($Dg \cdot \Delta h$) và áp suất phụ gây bởi mặt khum Δp_1

$$(\Delta p_1 = -\frac{2\sigma}{r_1}; \text{lấy dấu trừ vì mặt khum lõm});$$

$$P_A = P_0 + Dg\Delta h - \frac{2\sigma}{r_1} \quad (2)$$

Tương tự, áp suất P_B bằng tổng của áp suất khí quyển (P_0) và áp suất phụ gây bởi mặt khum Δp_2

$$(\Delta p_2 = -\frac{2\sigma}{r_2}; \text{lấy dấu trừ vì mặt khum lõm});$$

$$P_B = P_0 - \frac{2\sigma}{r_2} \quad (3)$$

Từ (1), (2) và (3) ta có:

$$Dg\Delta h = \frac{2\sigma}{r_1} - \frac{2\sigma}{r_2} = 4\sigma \left(\frac{d_2 - d_1}{d_1 d_2} \right)$$

$$\text{Suy ra } \sigma = \frac{Dg\Delta h d_1 d_2}{4(d_2 - d_1)}$$

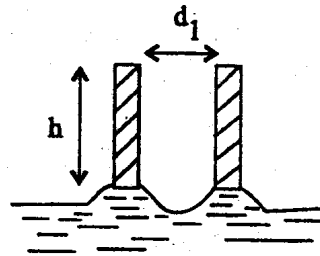
Thay số: $D = 10^3 \text{ kg/m}^3$; $g = 9,81 \text{ m/s}^2$; $\Delta h = 7\text{mm} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ m}$; $d_1 = 2\text{mm} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$; $d_2 = 4\text{mm} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, ta được $\sigma = 0,073 \text{ N/m}$.

B. Chú ý: Đây là loại bài toán về áp suất phụ gây bởi mặt khum của khối lỏng, đòi hỏi phải vận dụng công thức tính áp suất phụ ΔP khi tính toán áp suất ở cột chất lỏng trong ống mao dẫn. Khi vận dụng công thức tính ΔP cần phân biệt trường hợp mặt khum lõm ($\Delta P > 0$) hay mặt khum lồi ($\Delta P < 0$): Chẳng hạn đối với nước thì $\Delta P < 0$ (Áp suất phụ hướng ra ngoài khối nước), còn đối với thủy ngân thì $\Delta P > 0$ (Áp suất phụ hướng vào trong lòng khối thủy ngân). Cần chú ý thêm rằng trong công thức ΔP , r phải tính bằng mét. Từ công thức tính ΔP , nếu biết σ và r ta tính được ΔP . Và ngược lại nếu xác định được ΔP ta tìm được σ (như ở ví dụ trên), hoặc r . Nói chung đây là loại bài toán phức tạp, cần hình dung được rõ hiện tượng và đòi hỏi vận dụng thêm các công thức khác đã biết.

III. BÀI TẬP LUYỆN TẬP

2.1. Một vòng dây mảnh, đường kính 4cm khối lượng không đáng kể được chìm nằm ngang trong một chậu đựng dầu thô. Người ta thấy, muốn kéo vòng dây khỏi dầu phải tác dụng một lực $4,6 \cdot 10^{-3} \text{ N}$. Tính hệ số căng mặt ngoài của dầu thô.

2.2. Cần phải dùng một lực bằng bao nhiêu để nâng một vòng nhôm đặt nằm ngang trong nước (Hình 2.8) có đường kính trong $d_1 = 5\text{cm}$, đường kính ngoài $d_2 = 5,2\text{cm}$, chiều cao $h = 10\text{cm}$ ra khỏi mặt nước. Có bao nhiêu phần trăm lực cần tìm đó đã dùng để thắng lực căng mặt ngoài của nước. Cho biết khối lượng riêng của nhôm là $D = 2,8.10^3\text{kg/m}^3$; hệ số căng mặt ngoài của nước $\sigma = 0,073\text{N/m}$. Lấy $g = 9,8\text{ m/s}^2$.

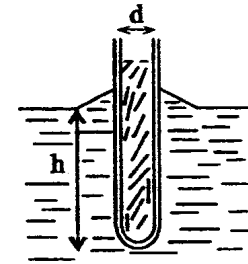


Hình 2.8

2.3. Để xác định lực căng mặt ngoài của rượu người ta làm như sau: Cho rượu trong một cái bình chảy nhỏ giọt ra ngoài theo một ống nhỏ thẳng đứng có đường kính $0,4\text{ cm}$. Thời gian giọt này rơi sau giọt kia là 2 giây . Người ta thấy rằng sau 13 phút thì có 20 gam rượu chảy ra. Tính hệ số căng mặt ngoài của rượu. Coi chỗ thắt của giọt rượu khi nó bắt đầu rơi có đường kính bằng đường kính của ống nhỏ giọt.

2.4. Một sợi dây bằng bạc đường kính $d = 2\text{mm}$, được treo thẳng đứng. Khi làm nóng chảy được $N = 24$ giọt bạc thì sợi dây bạc ngắn đi một đoạn $h = 20,5\text{ cm}$. Tính hệ số căng mặt ngoài của bạc ở thể lỏng. Cho biết khối lượng riêng của bạc ở thể lỏng là $D = 9,3.10^3\text{ kg/cm}^3$, và xem rằng chỗ thắt của giọt bạc khi nó bắt đầu rơi có đường kính bằng đường kính của sợi dây bạc.

2.5. Một ống mao dẫn, đường kính ngoài $d = 3\text{ mm}$, một đầu bịt kín, đựng một ít thủy ngân; khối lượng của ống và thủy ngân là $M = 0,2\text{g}$. Người ta nhúng thẳng đứng đầu bịt kín của ống vào một bình nước (Hình 2.9). Tính độ ngập sâu h của ống mao dẫn trong nước. Cho biết hệ số căng mặt ngoài của nước là $\sigma = 0,073\text{ N/m}$, và xem nước làm ướt hoàn toàn ống.



Hình 2.9

2.6. Ở 20°C một bậc đèn dẫn dầu lên cao $4,5\text{ cm}$. Dùng bậc này có thể dẫn dầu hỏa lên cao bao nhiêu. Cho biết hệ số căng mặt ngoài và khối lượng riêng của nước và dầu hỏa ở 20°C lần lượt bằng $\sigma_1 = 0,073\text{ N/m}$; $\sigma_2 = 0,024\text{ N/m}$; $D_1 = 10^3\text{ kg/m}^3$; $D_2 = 8.10^2\text{ kg/m}^3$.

2.7. Có 2cm^3 dầu lỏng chảy qua một ống nhỏ giọt thành 152 giọt dầu. Đường kính của lỗ đầu ống nhỏ giọt là $1,2\text{ mm}$. Tính hệ số căng mặt ngoài của dầu. Cho biết khối lượng riêng của dầu là $D = 9.10^2\text{ kg/m}^3$.

2.8. Một mao quản dài, hở hai đầu, đường kính trong $d = 4\text{mm}$, được đổ đầy nước và dựng thẳng đứng. Tính độ cao của cột nước còn lại trong mao quản. Cho biết hệ số căng mặt ngoài của nước $\sigma = 0,073\text{ N/m}$.

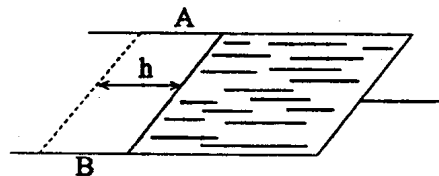
2.9. Hai ống mao dẫn có đường kính d_1 và d_2 ($d_1 < d_2$) được nhúng vào bình đựng êtê, sau đó vào bình đựng dầu hỏa. Hiệu các độ cao của các cột êtê dâng lên trong hai ống đó là $\Delta h_1 = 4,8\text{ mm}$, của các cột dầu hỏa là $\Delta h_2 = 6\text{mm}$. Biết hệ số căng mặt ngoài của êtê là $\sigma = 0,0017\text{ N/m}$, hãy tính suất căng mặt ngoài của dầu hỏa. Cho biết khối lượng riêng của êtê và của dầu hỏa lần lượt bằng $D_1 = 700\text{kg/m}^3$ và $D_2 = 800\text{kg/m}^3$.

2.10. Một khung dây đồng hình chữ nhật được giữ nằm ngang, có cạnh AB dễ trượt dài AB = l = 10 cm, căng một màng xà phòng (4.2.10).

a) Muốn cho cạnh AB nằm cân bằng (không rơi) thì đường kính của dây đồng AB phải bằng bao nhiêu .

b) Tính công thực hiện khi AB dịch chuyển một đoạn là h = 1cm. Cho biết hệ số căng mặt ngoài của nước xà phòng $\sigma = 0,04 \text{ N/m}$; khối lượng riêng của đồng $D = 8900 \text{ kg/m}^3$.

Lấy $g = 9,8 \text{ kg/m}^3$



Hình 2.10

2.11. Tính công cần thiết để làm tăng đường kính của một bong bóng xà phòng từ 2cm đến 10cm. Cho biết hệ số căng mặt ngoài của nước xà phòng là $\sigma = 0,04 \text{ N/m}^2$.

2.12. Xác định công cần thiết để biến 1 giọt nước 1g thành sương mù, nghĩa là để tách giọt nước thành những giọt nhỏ hơn có đường kính $0,2 \mu\text{m}$. Diện tích bề mặt giọt nước lúc đầu coi như không đáng kể so với tổng diện tích bề mặt của các hạt sương mù.

2.13. Hai giọt thủy ngân nhỏ hình cầu bán kính $r = 1 \text{ mm}$ tiếp xúc với nhau rồi nhập lại thành một giọt thủy ngân lớn hình cầu bán kính R. Nhiệt độ thủy ngân tăng lên, tại sao? Giả thiết nhiệt không truyền cho môi trường bên ngoài, hãy tính độ tăng nhiệt độ của thủy ngân. Cho biết thủy ngân có hệ số căng mặt ngoài $\sigma = 0,5 \text{ N/m}$; khối lượng riêng $D = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$; nhiệt dung $c = 138 \text{ J/kg.K}$.

2.14. Tìm hiệu hai mức thủy ngân trong hai ống mao dẫn thông nhau có bán kính R_1 và R_2 . Xem thủy ngân không dính ướt hoàn toàn thủy tinh.

2.15. Coi cái kim như một hình trụ có đường kính d. Nếu bôi mỡ thì kim có thể nổi trên mặt nước nếu $d < d_{\text{max}}$. Hãy tính d_{max} . Biết khối lượng riêng của thép là $D = 7,8 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$; hệ số căng mặt ngoài của nước $\sigma = 0,0073 \text{ N/m}$.

2.16. Một vành trụ có đường kính ngoài $d_1 = 2,8 \text{ cm}$ và đường kính trong $d_2 = 2,1 \text{ cm}$ được treo ngang vào đầu A của đòn cân và được cân bằng bởi các quả cân đặt trên đĩa B. Sau đó vành trụ được nhúng mép dưới vào một chậu đựng một chất lỏng nào đó làm ướt vành trụ. Muốn cho đòn cân trở lại cân bằng, cần đặt thêm vào đĩa B một số quả cân có khối lượng 11mg. Tính hệ số căng mặt ngoài của chất lỏng.

2.17. Tìm áp suất trong bọt khí đường kính $d = 4 \mu\text{m}$ ở trong nước, độ sâu $h = 5,0 \text{ m}$, áp suất khí quyển $P_0 = 76 \text{ cmHg}$.

2.18. Đáy một bình thủy tinh có lỗ nhỏ đường kính $d = 0,2 \text{ mm}$. Hỏi có thể đổ thủy ngân vào bình đó đến độ cao nào mà thủy ngân vẫn không chảy qua lỗ? Cho biết khối lượng riêng và hệ số căng mặt ngoài của thủy ngân lần lượt bằng $D = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$; $\sigma = 0,465 \text{ N/m}$. Lấy $g = 10 \text{ m/s}^2$.

2.19. Tính công cần thực hiện để thổi một bong bóng xà phòng đạt đến bán kính $R = 5 \text{ cm}$. Cho biết hệ số căng mặt ngoài của nước xà phòng là $\sigma = 0,04 \text{ N/m}$; áp suất khí quyển $p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$. Công để nén khí vào một bình có thể tích V đến áp suất p được tính theo công thức: $A_n = pV \ln(P/P_0)$.

2.20. Qua ống nhỏ giọt, cùng một lượng nước chảy thành $N_1 = 15$ giọt ở nhiệt độ $t_1 = 10^\circ\text{C}$, và chảy thành $N_2 = 17$ giọt ở $t_2 = 36^\circ\text{C}$.

Hỏi hệ số căng mặt ngoài đã thay đổi như thế nào trong hai trường hợp đó. Giả sử rằng khối lượng riêng của nước thay đổi không đáng kể trong hai trường hợp đó (nghĩa là bỏ qua sự nở khối).

2.21. Tìm chiều dài của cột nước trong mao quản có đường kính trong bằng 1,2mm khi ống đứng thẳng và khi ống nghiêng với mặt nước một góc 13° . Cho biết hệ số căng mặt ngoài của nước là $\sigma = 0,0728 \text{ N/m}$. Lấy $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

2.22. Một mao quản bằng thủy tinh, dài $l = 20 \text{ cm}$, đường kính trong $d = 1 \text{ mm}$, một đầu kín một đầu hở, được đặt thẳng đứng sao cho đầu hở chạm vào mặt nước đựng trong bình. Tính chiều cao của cột nước trong ống. Cho biết hệ số căng mặt ngoài của nước $\sigma = 0,0725 \text{ N/m}$; áp suất khí quyển $P_0 = 10^5 \text{ Pa}$. Lấy $g = 10 \text{ m/s}^2$.

2.23. Tìm hiệu hai mức thủy ngân trong hai ống mao dẫn thông nhau, đặt thẳng đứng, đường kính của chúng lần lượt bằng $d_1 = 0,5 \text{ mm}$ và $d_2 = 1 \text{ mm}$ nếu góc mép $\theta = 138^\circ$. Cho biết thủy ngân có hệ số căng mặt ngoài $\sigma = 0,465 \text{ N/m}$ và khối lượng riêng $D = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$. Lấy $g = 10 \text{ m/s}^2$.

2.24. Hiệu mức nước trong ống mao dẫn hình chữ U có đường kính trong $d_1 = 1 \text{ mm}$, $d_2 = 2 \text{ mm}$ bằng $\Delta h = 2 \text{ cm}$. Xác định hệ số căng mặt ngoài của nước.

2.25. Người ta nhỏ $m = 8 \text{ g}$ thủy ngân lên trên một tấm thủy tinh nằm ngang; đặt lên trên thủy ngân một tấm thủy tinh khác cùng với quả nặng đè lên, có khối lượng tổng cộng $M = 160 \text{ kg}$. Khi đó thủy ngân bị nén thành một vết tròn có bán kính $R = 10 \text{ cm}$. Tính hệ số căng mặt ngoài σ của thủy ngân. Cho biết khối lượng riêng của thủy ngân $D = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$. Lấy $g = 9,8 \text{ m/s}^2$. Cho rằng thủy ngân hoàn toàn không dính ướt thủy tinh.

2.26. Một ống áp kế có đường kính có tiết diện trong $d = 4 \text{ mm}$, đựng đầy thủy ngân và được nhúng vào một cốc lớn, hiệu mức thủy ngân trong ống và trong cốc là $\Delta h = 75,6 \text{ cm}$. Tính áp suất khí quyển. $\sigma = 0,47 \text{ N/m}$ $D = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

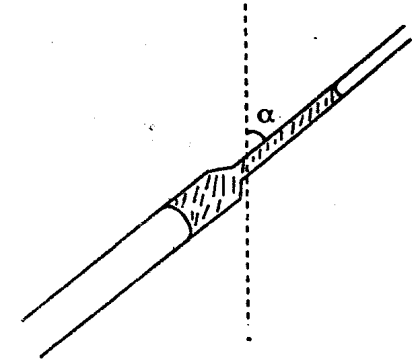
2.27. Cần thực hiện công là bao nhiêu để phân chia một giọt chất lỏng hình cầu có bán kính R thành hai giọt như nhau. Cho biết hệ số căng mặt ngoài của chất lỏng bằng σ .

2.28. Tám giọt thủy ngân hình cầu hợp thành một giọt. Có bao nhiêu nhiệt lượng tỏa ra.

2.29. Tính áp suất trong một bọt không khí có đường kính $d = 3,66 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$ được hình thành trong nước ở độ sâu $3,5 \text{ m}$. Cho biết áp suất khí quyển bằng 751 mm Hg .

2.30. Trong một ống mao dẫn hở hai đầu đặt thẳng đứng, đường kính trong là 1 mm , có một giọt nước. Hỏi khối lượng của giọt nước phải như thế nào để cho mặt khum ở bên dưới mỗi giọt nước là: a) Mặt lõm; b) Mặt phẳng; c) Mặt lồi.

2.31. Một ống thủy tinh gồm hai phần có bán kính trong $r_1 = 1 \text{ mm}$ và $r_2 = 1,5 \text{ mm}$ hàn đồng trục với nhau. Trong ống có một đoạn nước có khối lượng $M = 0,1 \text{ g}$ (Hình 2.16). Để ống nằm ngang thì nước rút toàn bộ vào phần ống nhỏ; để thẳng đứng nước chảy hết ra ngoài. Nếu để ống nghiêng góc α so với đường thẳng đứng thì nước có một phần trong ống lớn, một phần trong ống nhỏ.



Hình 2.16

Hãy tính giá trị cực tiểu của góc α để vẫn còn nước trong ống. Cho biết hệ số căng mặt ngoài của nước là $\sigma = 0,073 \text{ N/m}$.

2.32. Hai mao quản có đường kính trong $d_1 = 0,5 \text{ mm}$ và $d_2 = 1 \text{ mm}$ nhúng trong một bình đựng chất lỏng. Tính hiệu các mức chất lỏng trong hai mao quản, nếu;

a) Chất lỏng đó là nước; b) Chất lỏng đó là thủy ngân.

2.33. Có hai ống mao dẫn lồng vào nhau, đồng trục, nhúng thẳng đứng vào một bình nước. Đường kính trong của ống mao dẫn nhỏ bằng bề rộng của khe tạo nên giữa hai ống mao dẫn. Hỏi mức nước trong ống mao dẫn nào cao hơn và cao hơn bao nhiêu lần. Bỏ qua bề dày của ống mao dẫn trong.

2.34. Hai bọt xà phòng dính vào nhau như ở hình. 2.18; bán kính cong của hai bọt là R_1 và R_2 .

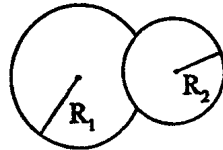
a) Xác định bán kính cong của màng ngăn cách hai bọt đó.

b) Giả sử $R_1 = R_2 = R$ và màng ngăn cách bị phá vỡ. Tính bán kính r của bọt mới tạo thành. Coi rằng áp suất phụ dưới mặt cong là rất nhỏ so với áp suất khí quyển. Cho biết thể tích của một chòm cầu (Hình 2.19) được tính theo công thức:

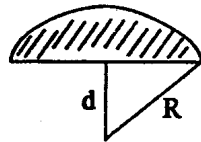
$$V = \frac{\pi}{3} (2R^3 - 3R^2d + d^3).$$

2.35. Một mao quản có đường kính trong $d = 0,2\text{cm}$, hàn kín một đầu, được nhúng đầu hở theo phương thẳng đứng vào một bình nước. Người ta thấy cột nước trong ống có độ cao $h = 0,5\text{cm}$. Tìm chiều dài của ống. Cho biết hệ số căng mặt ngoài của nước $\sigma = 0,070\text{ N/m}$; áp suất khí quyển $P_0 = 10^5\text{ N/m}^2$. Lấy $g \approx 10\text{m/s}^2$.

2.36. Có hai tấm thủy tinh phẳng đặt song song cách nhau một khoảng $d = 0,4\text{mm}$, nhúng thẳng đứng vào trong một chất lỏng; khi đó độ cao của mực chất lỏng giữa hai tấm thủy tinh bằng $h = 1,6\text{cm}$. Tính khối lượng riêng của chất lỏng đó. Cho biết hệ số căng mặt ngoài của chất lỏng $\sigma = 0,027\text{ N/m}$; xem chất lỏng làm ướt hoàn toàn thủy tinh.



Hình 2.18



Hình 2.19

2.37. Khối lượng riêng của không khí trong một cái bong bóng ở dưới đáy của một hồ nước sâu 6m, lớn gấp 5 lần khối lượng riêng của không khí ở khí quyển (có nhiệt độ bằng nhiệt độ ở đáy hồ). Tính bán kính của bong bóng đó.

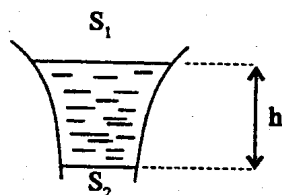
2.38. Một bọt không khí ở cách mặt thoáng của một khối lỏng đựng trong chậu một khoảng cách H . Tại vị trí của bọt có dao động siêu âm kích động nên bán kính của bọt thay đổi theo định luật $R = R_0 + a \sin \omega t$. Tính áp suất cực đại và cực tiểu trong bọt. Cho biết hệ số căng mặt ngoài của chất lỏng là σ ; áp suất khí quyển là P_0 . Bỏ qua sự bay hơi của chất lỏng và trong bọt.

2.39. Một ống mao dẫn được nhúng thẳng đứng trong một bình đựng chất lỏng. Hỏi chiều cao của cột nước trong ống thay đổi như thế nào nếu ống mao dẫn và bình được nâng lên nhanh dần đều với gia tốc $a = g$, và hạ xuống nhanh dần đều với gia tốc $a' = g/2$. Xem chất lỏng làm dính ướt hoàn toàn ống.

2.40. Một ống mao dẫn đường kính d , đặt thẳng đứng và được nhúng một đầu vào trong một chất lỏng nào đó làm ướt ống, khi đó độ cao của cột chất lỏng dâng lên trong ống bằng h . Tìm biểu thức tính áp suất P_z tại độ cao z của cột chất lỏng trong ống. Cho biết hệ số căng mặt ngoài của chất lỏng là σ ; góc mép (góc bờ) là θ ; áp suất khí quyển là P_0 .

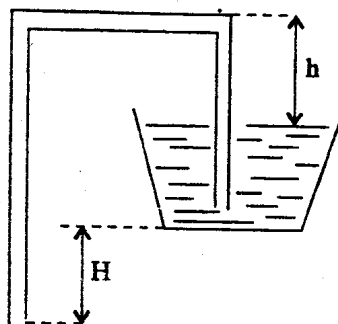
2.41. Một dòng nước chảy thẳng đứng xuống dưới. Trên một đoạn của dòng nước dài $h = 3\text{cm}$ người ta thấy đường kính của dòng giảm từ 3mm đến 2mm (Hình 2.22).

Hỏi sau bao lâu thì nước có thể chảy đầy một cốc có dung tích $V = 400 \text{ cm}^3$. Cho biết hệ số căng mặt ngoài của nước là $\sigma = 7,6 \cdot 10^{-2} \text{ N/m}$. Lấy $g = 9,8 \text{ m/s}^2$



Hình 2.22

2.42. Ta nhúng vào chậu nước một ống mao dẫn chưa có nước, gấp khúc như hình vẽ (Hình 2.23), có bán kính trong là r . Hỏi trong khoảng nhiệt độ nào thì toàn bộ nước trong bình có thể chảy hết ra ngoài. Cho biết $r = 0,1 \text{ mm}$; $h = 14,1 \text{ cm}$; $H = 15 \text{ cm}$, và biết hệ số căng mặt ngoài của nước biến thiên theo nhiệt độ: $\sigma = \sigma_0 - \alpha T$, với $\sigma_0 = 7,6 \cdot 10^{-2} \text{ N/m}$; $\alpha = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ N/m}$.



Hình 2.23

2.43. Ta đã biết các tấm kính ướt thì “dính” vào nhau, muốn tách chúng ra cần phải dùng sức. Một giọt nước có khối lượng $m = 0,1 \text{ g}$ bị ép giữa hai tấm thủy tinh cách nhau một khoảng $d = 10^{-4} \text{ cm}$. Vết nước có dạng hình tròn. Tính lực F cần đặt vuông góc với tấm thủy tinh để tách chúng ra. Cho biết hệ số căng mặt ngoài của nước $\sigma = 7,6 \cdot 10^{-2} \text{ N/m}$. Xem nước làm ướt hoàn toàn thủy tinh.

2.44. Một ống mao dẫn dài $l = 20 \text{ cm}$, đường kính trong $d = 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}$, một đầu hàn kín úp thẳng đứng sao cho đầu hở chạm mặt nước trong chậu. Tính độ cao của cột nước dâng lên trong ống. Cho biết áp suất khí quyển $P_0 = 10^5 \text{ N/m}^2$ và xem rằng nước làm ướt hoàn toàn ống.

2.45. Tính công chống lại lực căng mặt ngoài khi người ta tạo được một bong bóng xà phòng có bán kính 5 cm . Sự chênh lệch của áp suất không khí ở bên trong và bên ngoài bong bóng xà phòng là bao nhiêu? Cho biết hệ số căng mặt ngoài của nước xà phòng là $\sigma = 4 \cdot 10^{-2} \text{ N/m}$.

HƯỚNG DẪN GIẢI VÀ ĐÁP SỐ

2.1. Lực phải tác dụng vào vòng dây có độ lớn bằng lực căng mặt ngoài. Ta có $F = \sigma l$, với l là chu vi vòng dây $l = \pi d$. Từ đó:

$$\sigma = \frac{F}{l} = \frac{F}{\pi d} \approx 1,84 \cdot 10^{-2} \text{ N/m}$$

2.2. Lực $\vec{F}$ cần để nâng vòng nhôm ra khỏi nước gồm hai phần: lực $\vec{F}_1$ để thắng trọng lượng vòng nhôm ($F_1 = mg$); và lực $\vec{F}_2$ để thắng lực căng mặt ngoài tác dụng lên hai đường chu vi của màng chất lỏng ở đáy xoong nhôm

$$(F_2 = \sigma \pi d_1 + \sigma \pi d_2 = \sigma \pi (d_1 + d_2)).$$

Vì $\vec{F}_1$ và $\vec{F}_2$ cùng phương chiều nên lực $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ có độ lớn:

$$F = F_1 + F_2 = mg + \sigma \pi (d_1 + d_2),$$

$$\text{với } m = DV = D \cdot h \cdot \pi (r_2^2 - r_1^2) = \frac{\pi}{4} (d_2^2 - d_1^2) h D.$$

Thay số ta được:

$$F_1 \approx 5,4 \cdot 10^{-2} \text{ N}; F_2 \approx 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ N} \text{ và } F = F_1 + F_2 \approx 6,6 \cdot 10^{-2} \text{ N}$$

Lực để thắng lực căng mặt ngoài chiếm tỷ lệ:

$$\frac{F_2}{F} = \frac{1,2}{6,6} \approx 0,18 = 18\%.$$

2.3. Trọng lượng của giọt rượu khi bắt đầu rơi bằng lực căng mặt ngoài trên chu vi $l = \pi d$, trong đó d là đường kính chỗ thắt của giọt rượu (bằng đường kính của ống nhỏ giọt). Do đó trọng lượng của một giọt rượu là $P = \sigma \pi d$. Sau thời gian $t = 13 \text{ phút} = 780 \text{ giây}$ có $M = 20 \text{ g}$ rượu chảy ra, cứ 2 giây thì có 1 giọt rượu rơi xuống do đó trong 20g rượu có chứa $t/2$ giọt rượu.

Như vậy khối lượng của một giọt rượu bằng $\frac{M}{t/2} = \frac{2M}{t}$ và

trọng lượng một giọt rượu bằng: $P = \frac{2M}{t} \cdot g$ từ đó ta có:

$$\sigma \pi d = \frac{2M}{t} \cdot g \text{ và do đó } \sigma = \frac{2Mg}{\pi d t} \text{ thay số ta được}$$

$$\sigma = 4 \cdot 10^{-4} \text{ N/m.}$$

2.4. Giải tương tự như ở ví dụ 1 và bài 2.3. Gọi P là trọng lượng của giọt bạc ta có $P = mg = \sigma \pi d$. Để tính m ta biết, trong đoạn dây bạc có độ cao h có chứa $N = 24$ giọt bạc, nghĩa là:

$$m = \frac{\frac{h \pi d^2}{4} \cdot D}{N}. \text{ Từ đó } \frac{\pi d^2 h D g}{4N} = \sigma \pi d$$

$$\text{Suy ra } \sigma = \frac{dh D g}{4N}. \text{ Thay số ta được } \sigma = 0,78 \text{ N/m.}$$

2.5. Khi ống nằm cân bằng, lực đẩy Acsimet F_A (hướng thẳng đứng lên trên) tác dụng lên phần chìm của ống trong nước phải bằng trọng lượng P của ống (và thủy ngân) cộng với lực căng mặt ngoài F tác dụng lên đường chu vi ngoài của tiết diện ống, nghĩa là ta phải có $F_A = P + F$. Ở đây

$$F_A = \left(\frac{h \pi d^2}{4} D g \right) \quad (D \text{ là khối lượng riêng của nước});$$

$$P = Mg; \quad F = \sigma \pi d. \quad \bullet \text{Như vậy:}$$

$$h \frac{\pi d^2 D g}{4} = Mg + \sigma \pi d \quad \text{Suy ra} \quad h = \frac{4(Mg + \sigma \pi d)}{\pi d^2 D g}$$

$$\text{Thay số ta được } h \approx 3,8 \cdot 10^{-2} \text{ m} \approx 3,8 \text{ cm.}$$

$$2.6. \quad h_1 = \frac{4\sigma_1}{D_1 g d_1} \quad h_2 = \frac{4\sigma_2}{D_2 g d_2} \quad \text{Biết rằng } d_1 = d_2$$

(đường kính ống mao dẫn của bậc đèn),

$$\text{ta được:} \quad \frac{h_2}{h_1} = \frac{d_2 D_1}{d_1 D_2}$$

$$\text{Từ đó} \quad h_2 = h_1 \frac{d_2 D_1}{d_1 D_2} \quad (1)$$

$$\text{Thay số ta được} \quad h_1 \approx 18,45 \approx 18 \text{ mm.}$$

Ghi chú: Từ công thức (1) ta thấy, nếu cho biết h_1, h_2 và σ_1 (hoặc σ_2) ta tìm được σ_2 (hoặc σ_1).

$$2.7. \quad \sigma = \frac{P}{\pi d} = \frac{DVg}{N\pi d} \approx 0,03 \text{ N/m}$$

2.8. Cột nước còn lại trong mao quản được giữ bởi lực căng mặt ngoài của mặt lõm ở trên và mặt lồi ở mặt dưới; hai lực này cùng hướng lên trên và hợp lực của chúng có độ lớn:

$$F = \sigma \cdot \pi d + \sigma \cdot \pi d = 2\sigma \pi d.$$

Trọng lượng của cột nước còn lại trong ống:

$$P = mg = DShg = \frac{\pi D d^2 h g}{4}, \text{ với } h \text{ là độ cao cột nước trong ống.}$$

Điều kiện cân bằng của cột nước trong mao quản:

$$P = F \rightarrow \frac{\pi D d^2 h g}{4} = 2\sigma \pi d; \quad \text{Từ đó} \quad h = \frac{8\sigma}{Dgh}$$

$$\text{Thay số ta được } h \approx 0,0145 \text{ m} = 14,5 \text{ cm.}$$

$$2.9. \text{ Ta có } \Delta h_1 = \frac{4\sigma_1}{D_1 g d_1} - \frac{4\sigma_1}{D_1 g d_2} = \frac{4\sigma_1}{D_1 g} \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right)$$

$$\text{và tương tự: } \Delta h_2 = \frac{4\sigma_2}{D_2 g} \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right) \quad \text{Từ đó suy ra}$$

$$\frac{\Delta h_2}{\Delta h_1} = \frac{\sigma_2 D_1}{\sigma_1 D_2} \quad \text{và do đó} \quad \sigma_2 = \frac{\sigma_1 D_2 \cdot \Delta h_2}{D_1 \cdot \Delta h_1}$$

$$\text{Thay số ta được } \sigma_2 \approx 0,0243 \text{ N/m.}$$

2.10. a) Vì màng xà phòng có hai mặt nên lực căng mặt ngoài tác dụng lên thanh AB hướng lên trên và có độ lớn bằng $F = 2\sigma l$. Trọng lượng của thanh AB:

$$P = mg = DVg = D \cdot \frac{\pi d^2}{4} lg.$$

Trong đó d là đường kính của thanh AB. Điều kiện cân bằng của thanh AB là: $P = F$, suy ra:

$$D \frac{\pi d^2}{4} lg = 2\sigma l \rightarrow d = \sqrt{\frac{8\sigma}{\pi Dg}}$$

Thay số ta được $d \approx 1,05 \cdot 10^{-3} \text{ m} \approx 1,05 \text{ mm}$.

b) Công thực hiện khi thanh dịch chuyển một đoạn h là:

$$A = Fh = 2\sigma l \cdot h = 8 \cdot 10^{-5} \text{ J}.$$

Cách 2 : Khi thanh dịch chuyển, diện tích mặt ngoài (mặt trên và mặt dưới của màng) tăng thêm một lượng: $\Delta S = 2 \cdot lh = 2lh$. Do đó công (độ tăng năng lượng mặt ngoài) bằng $A = \sigma \Delta S = \sigma \cdot 2lh = 2\sigma lh = 8 \cdot 10^{-5} \text{ J}$. (Như vậy bài toán này giúp cho độc giả khẳng định công thức $A = \sigma \cdot \Delta S$ và $\Delta W = \sigma \cdot \Delta S$ nêu ra ở mục I).

2.11. Bong bóng xà phòng có hai mặt trong và ngoài có thể xem là cùng đường kính. Khi thổi bong bóng xà phòng diện tích cả hai mặt, trong và ngoài đều tăng. Công cần thiết được tính theo công thức: $A = \sigma \cdot \Delta S$ với ΔS = độ tăng của 2 lần mặt bong bóng xà phòng $= \Delta S = 2\pi d_2^2 = 2\pi d_1^2 = 2\pi(d_2^2 - d_1^2)$. Do đó

$$A = \sigma \cdot 2\pi(d_2^2 - d_1^2)$$

Thay số: $\sigma = 0,04 \text{ N/m}$; $d_2 = 10 \text{ cm} = 10^{-1} \text{ m}$;

$$d_1 = 2 \text{ cm} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$A \approx 24 \cdot 10^{-4} \text{ J} = 2,4 \text{ mJ}.$$

2.12. Áp dụng công thức $A = \sigma \cdot \Delta S$ với ΔS là tổng diện tích bề mặt của các hạt sương mù: $\Delta S = N \cdot \pi d^2$ ($d = 2 \mu\text{m}$), với N là số hạt sương mù. Tính N theo công thức: $N = \frac{M}{m}$ ($M = 1 \text{ g}$) với m là khối lượng một hạt sương mù.

$$m = \frac{\pi d^3}{6} \cdot D \quad (D \text{ là khối lượng riêng của nước}).$$

$$\text{Suy ra: } A = \frac{6\sigma M}{Dd} \approx 2,2 \text{ J}.$$

2.13. Khi hai giọt thủy ngân tiếp xúc với nhau, khuynh hướng giảm diện tích mặt ngoài làm chúng trở thành một giọt; do đó diện tích mặt ngoài thay đổi một lượng ΔS , và năng lượng mặt ngoài giảm một lượng $\Delta W = \sigma \Delta S$. Vì không có truyền nhiệt cho môi trường ngoài và hệ không sinh công (thể tích không đổi) nên ΔW chuyển thành nội năng của hệ, nghĩa là làm nhiệt độ thủy ngân tăng một lượng Δt .

$$\text{Ta có: } \Delta W = \sigma \Delta S = cM \Delta t, \quad \text{Suy ra } \Delta t = \frac{\sigma \Delta S}{cM}$$

$$\text{Ta có: } \Delta S = 2,4 \pi r^2 - 4 \pi R^2 \quad M = 2 \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 \cdot D$$

Tính R từ điều kiện thể tích thủy ngân không đổi:

$$2 \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi R^3$$

$$\text{Suy ra } R = r \sqrt[3]{2} \quad \text{Từ đó suy ra:}$$

$$\Delta t = \frac{3\sigma(2 - \sqrt[3]{4})}{2cDr} \approx 1,64 \cdot 10^4 \text{ K}$$

2.14. Thủy ngân trong ống mao dẫn thông nhau dừng ở mức áp suất gây bởi chất lỏng trong hai ống là như nhau tức là $P_1 = P_2$. Áp suất này bằng tổng các áp suất thủy tĩnh và áp suất phụ gây bởi mặt cong lồi của chất lỏng.

Áp suất thuỷ tĩnh $P = \rho gh$. Trong trường hợp không dính ướt hoàn toàn, bán kính cong của mặt chất lỏng bằng bán kính ống mao dẫn và áp suất phụ có thể xác định bằng công thức Laplace đối với mặt cầu $\Delta p = \frac{2\sigma}{R}$ Vì vậy:

$$\rho gh_1 + \frac{2\sigma}{R_1} = \rho gh_2 + \frac{2\sigma}{R_2}$$

$$\text{Hiệu hai mức thuỷ ngân là: } \Delta h = h_1 - h_2 = \frac{2\sigma(R_1 - R_2)}{DgR_1R_2}$$

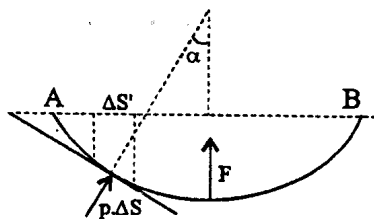
2.15. Kim bôi mỡ thì nước không làm dính ướt kim và lõm xuống thành mặt trụ, có xuất hiện áp suất phụ

$$\Delta p = \frac{\sigma}{R} = \frac{2\sigma}{d}$$

Các thành phần nằm ngang của áp suất phụ triệt tiêu nhau, các thành phần thẳng đứng tổng hợp lại thành lực nâng F . Xét diện tích nguyên tố ΔS của mặt trụ, diện tích này chịu áp lực $\Delta p \Delta S$ (Hình 2.11) có thành phần thẳng đứng bằng $\Delta p \cdot \Delta S \cos \alpha = \Delta p \Delta S'$ với $\Delta S' = \Delta S \cos \alpha$ là hình chiếu của ΔS xuống mặt ngang AB. Lực nâng tổng cộng tác dụng lên kim là:

$F = \sum \Delta p \cdot \Delta S' = \Delta p \cdot \sum \Delta S' = \Delta p \cdot S'$, với S' là diện tích của mặt cắt AB của kim. Ta thấy F cực đại khi S' cực đại, nghĩa là khi AB đi qua trục của kim hình trụ. Gọi l là chiều dài của kim, ta có $S'_{\max} = ld$, và , do đó $F_{\max} = \Delta p \cdot S'_{\max} = \Delta p \cdot ld$

$$\rightarrow F_{\max} = \frac{2\sigma}{d} \cdot ld - 2\sigma l. \text{ Lực nâng } F_{\max} \text{ này phải cân}$$



Hình 2.11

bằng với trọng lượng của kim có đường kính $d_{\max}$:

$$F_{\max} = P_{\max} \text{ với } P_{\max} = D \cdot \frac{\pi d_{\max}^2}{4} \cdot l \cdot g$$

$$\text{Do đó: } 2\sigma l = \frac{\pi D l g}{4} d_{\max}^2$$

$$\text{Suy ra: } d_{\max} = 2 \sqrt{\frac{2\sigma}{\pi D g}} \quad \text{Thay số ta được}$$

$$d_{\max} \approx 1,56 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 1,56 \text{ mm.}$$

Cần chú ý rằng đáng lẽ còn phải tính đến lực đẩy Acimet tác dụng lên kim, nhưng lực này nhỏ không đáng kể so với trọng lượng của kim.

Cách khác: Để kim có thể nổi trên mặt nước, áp suất phụ gây bởi mặt cong của chất lỏng ($\Delta p = \frac{2\sigma}{d}$) phải lớn hơn hoặc bằng áp suất gây bởi trọng lượng của kim lên mặt nước:

$$P = \frac{P}{ld} = \frac{D \cdot (\frac{\pi d^2}{4} \cdot l) g}{ld} = \frac{\pi D d g}{4} \quad \text{Ta phải có:}$$

$$\frac{2\sigma}{d} \geq \frac{\pi D d g}{4} \rightarrow d \leq \sqrt{\frac{8\sigma}{\pi D g}}, \quad \text{suy ra } d_{\max} = \sqrt{\frac{8\sigma}{\pi D g}}$$

$$\mathbf{2.16.} \quad \sigma = 0,07 \text{ N/m}$$

Hướng dẫn: Trọng lượng của số quả cân đặt thêm vào đĩa B cân bằng với lực căng tác dụng lên vành trụ.

$$\mathbf{2.17.} \quad p = p_0 + Dgh + \frac{4\sigma}{d} = 2,2 \text{ atm.}$$

2.18. Thuỷ ngân tạo thành một phần mặt cầu ở lỗ thùng (Hình 2.12), gây nên áp suất phụ hướng lên trên: $\Delta p = \frac{2\sigma}{R}$, R là bán kính của phần mặt cầu.

Để cho thủy ngân không chảy qua lỗ, áp suất phụ này phải cân bằng với áp suất thủy tĩnh: $p = Dgh$, với h là độ cao của mặt thoáng so với đáy. Từ đó:

$$\frac{2\sigma}{R} = Dgh, \text{ suy ra } h = \frac{2\sigma}{RDg}$$

Có thể cho rằng giới hạn bên của phần mặt cầu đó là khi đường kính của nó bằng đường kính của lỗ ($2R = d$) và khi đó độ cao h có giá trị cực đại $h_{\max}$:

$$h_{\max} = \frac{2\sigma}{Dg \cdot \frac{d}{2}} = \frac{4\sigma}{Ddg}$$

Thay số ta được: $h_{\max} \approx 6,75 \text{ cm}$.

2.19. Xem quá trình thổi là đẳng nhiệt. Gọi p là áp suất của không khí trong bong bóng xà phòng. Khi chuyển qua mặt chất lỏng áp suất thay đổi một lượng bằng áp suất phụ:

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{R}$$

Từ hình 2.13 ta có:

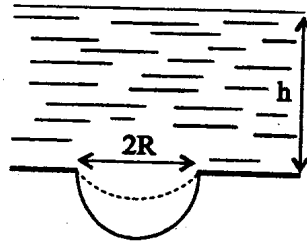
$$P_B - P_A = \Delta p = \frac{2\sigma}{R};$$

$$P_C - P_B = \Delta p = \frac{2\sigma}{R};$$

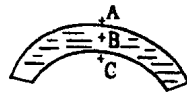
$$\rightarrow P_C - P_A = 2\Delta p = \frac{4\sigma}{R};$$

$$\text{Rút ra: } P = P_C = P_A + \frac{4\sigma}{R} = P_0 + \frac{4\sigma}{R}$$

Công thực hiện để thổi bong bóng xà phòng bằng công để tăng diện tích mặt ngoài lên một lượng ΔS cộng với công để nén khí vào bong bóng tới áp suất p : $A = \sigma \Delta S + pV \ln(P/P_0)$,



Hình 2.12



Hình 2.13

trong đó ΔS là tổng diện tích mặt trong và mặt ngoài của bong bóng ($\Delta S = 2,4\pi R^2 = 8\pi R^2$), V là thể tích của bong bóng $V = \frac{4}{3}\pi R^3$.

$$\text{Từ đó: } A = 8\pi\sigma R^2 + \frac{4}{3}\pi R^3(p_0 + \frac{4\sigma}{R})\ln(1 + \frac{4\sigma}{Rp_0}). \text{ Vì: } \frac{4\sigma}{Rp_0} \ll 1$$

nên, một cách gần đúng: $\ln(1 + \frac{4\sigma}{Rp_0}) \approx \frac{4\sigma}{Rp_0}$, và từ đó:

$$A \approx 8\pi\sigma R^2(1 + \frac{2}{3}) \approx 4,18 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

2.20. Lập luận như ở thí dụ 1, ta có:

$$\sigma_1 = \frac{Dgv}{\pi dN_1}, \quad \sigma_2 = \frac{DgV}{\pi dN_2}$$

$$\text{Từ đó: } \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{N_2}{N_1} \approx 1,13 \text{ lần}$$

$$\text{2.21. } h_1 = \frac{4\sigma}{Dgd} \approx 0,0245 \text{ m} \approx 2,45 \text{ cm}$$

$$h_2 = \frac{h_1}{\sin 13^\circ} = \frac{2,45}{0,225} \approx 11 \text{ cm}$$

2.22. Gọi P là áp suất của khí trong ống, h là độ cao của cột nước trong ống, áp dụng định luật Bôilơ – Mariot ta có:

$$P_0 l = P(l - h) \quad (1)$$

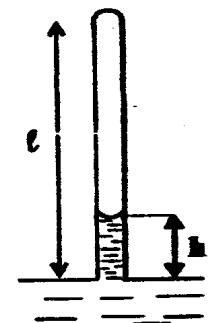
Mặt khác, ta lại có:

$$p_0 = p - \frac{2\sigma}{R} + Dgh \quad (2)$$

$$(\Delta P = -\frac{2\sigma}{R} \text{ là áp suất phụ ở mặt}$$

khum lõm trong ống)

$$\text{Từ (1) và (2) ta có (thay } R = \frac{d}{2}):$$



Hình 2.14

$$Dg.h^2 - (Dgl + \frac{4\sigma}{d} + p_0).h + \frac{4\sigma l}{d} = 0$$

Thay số $D = 10^3 \text{ kg/m}^3$; $g = 10 \text{ m/s}^2$; $l = 20 \text{ cm} = 2 \cdot 10^{-1} \text{ m}$; $d = 1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$, $\sigma = 0,0725 \text{ N/m}$; $P_0 = 10^5 \text{ Pa}$, ta được $h = 0,76 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 0,76 \text{ mm}$. $0,57 \text{ mm}$.

2.23. Giải tương tự như ở thí dụ 4.

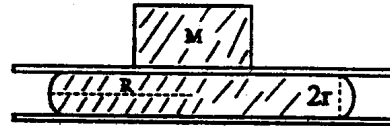
$$\Delta h = \frac{4\sigma(d_2 - d_1)|\cos\theta|}{Dd_1d_2g} \approx 1,1 \text{ cm}$$

2.24.
$$\sigma = \frac{Dg.\Delta h}{4(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2})} \approx \frac{0,073 \text{ N}}{\text{m}}$$

2.25. Có thể cho rằng mép của vết thủy ngân có dạng màng tiết diện hình nửa đường tròn với bán kính r . Để tính r , ta tính thể tích của vết thủy ngân:

$$V = \frac{m}{D} = \pi R^2 \cdot 2r, \text{ suy ra}$$

$$r = \frac{m}{2\pi DR^2}$$



Hình 2.15

Thay số $m = 8 \text{ g} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$; $D = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$; $R = 10 \text{ cm} = 10^{-1} \text{ m}$, ta được: $r = 9,36 \cdot 10^{-6} \text{ m}$.

Áp suất phụ ở mép của vết thủy ngân có dạng: $\Delta p = \sigma(\frac{1}{R} + \frac{1}{r})$. Áp suất do trọng lượng quả nặng tác dụng

lên vết thủy ngân: $p = \frac{F}{S} = \frac{Mg}{\pi R^2}$. Khi có cân bằng

$$\Delta p = p, \text{ suy ra: } \frac{Mg}{\pi R^2} = \sigma(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}); \text{ Từ đó: } \sigma = \frac{MgRr}{\pi R^2(R+r)}$$

Thay số ta được: $\sigma \approx 0,467 \text{ N/m}$

2.26. Tính theo độ cao của cột thủy ngân, ta có:

$$p = \Delta h + \frac{4\sigma}{Dgd} \approx 760 \text{ mm Hg}$$

2.27. Khi phân chia giọt chất lỏng, công cần tăng diện tích mặt ngoài của chất lỏng ΔS , vì diện tích mặt ngoài của một giọt lớn hơn tổng diện tích mặt ngoài của hai giọt nhỏ phân chia từ nó. Sự biến thiên năng lượng khi đó là: $A = \sigma \Delta S$. Thể tích của hai giọt nhỏ bằng thể tích giọt lớn:

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = 2 \cdot \frac{4}{3}\pi r^3,$$

$$\text{Suy ra: } r = \frac{R}{\sqrt[3]{2}}; \text{ Và } \Delta S = 2 \cdot 4\pi r^2 - 4\pi R^2 = 4\pi R^2(\frac{2}{\sqrt[3]{4}} - 1)$$

$$A = \sigma \Delta S = 4\pi R^2 \sigma (\frac{2}{\sqrt[3]{4}} - 1)$$

2.28. $Q = 6 \cdot 10^{-6} \text{ J}$.

2.29. $167,2 \text{ cm Hg}$

- 2.30.** a) $M < 2,33 \cdot 10^{-5} \text{ Hg}$;
b) $M = 2,33 \cdot 10^{-5} \text{ kg}$;
c) $M > 2,33 \cdot 10^{-5} \text{ kg}$.

2.31. Khi đoạn nước nằm cân bằng trong ống, ống phải có đầu nhỏ ở trên, đầu to ở dưới (như ở hình 2.16) để hiệu các áp suất phụ gây bởi hai mặt cong cân bằng với áp suất thủy tĩnh của cột nước: $\frac{2\sigma}{r_1} - \frac{2\sigma}{r_2} = Dgl \cos \alpha$; Với l là chiều

dài của đoạn nước. Từ đó: $\cos \alpha = \frac{2\sigma}{Dgl}(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2})$

Góc α có trị số nhỏ ($\cos \alpha$ có trị số lớn nhất) khi l nhỏ nhất, nước nằm gần toàn bộ trong ống to, khi đó:

$$D\pi r_2^2 l_{\min} \approx M, \text{ hay } l_{\min} \approx \frac{M}{\pi r_2^2 D}$$

Từ đó: $\cos \alpha_{\min} \approx \frac{2\pi\sigma r_2}{Mg r_1} (r_2 - 1)$ Thay số ta được:
 $\cos \alpha_{\min} \approx 0,344.$

2.32. $\Delta h = \frac{4\sigma(d_2 - d_1)}{Dgd_1d_2}$

- a) Đối với nước: $\Delta h \approx 3\text{cm};$
 b) Đối với thủy ngân: $\Delta h \approx 1,5\text{ cm}.$

2.33. Xét ống mao dẫn nhỏ có đường kính trong là d:

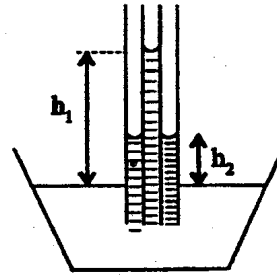
$$\Delta p_1 = \frac{2\sigma}{r} = \frac{4\sigma}{d} = Dgh_1$$

D là khối lượng riêng của chất lỏng; h_1 là độ cao của mực nước trong ống nhỏ.

Từ đó: $h_1 = \frac{4\sigma}{Ddg}$ (1)

Mặt khum ở giữa hai ống mao dẫn có bán kính $R_1 = r$ (đường kính d) và bán kính $R_2 = d$. Do đó áp suất phụ gây bởi mặt khum ở giữa hai ống mao dẫn bằng:

$$\Delta p_2 = d\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{d}\right) = \frac{3\sigma}{d} = Dgh_2$$



Hình 2.17

h_2 là độ cao trong ống mao dẫn lớn (ở khe giữa hai ống); từ đó:

$$h_2 = \frac{3\sigma}{Ddg} \quad (2) \quad \text{Từ (1) và (2) suy ra: } \frac{h_1}{h_2} = \frac{4}{3}$$

2.34. Ở mỗi bọt xà phòng có áp suất phụ tính theo công thức: $\Delta p = \frac{2\sigma}{R} + \frac{2\sigma}{R} + \frac{4\sigma}{R}$ (Vì lớp xà phòng giới hạn bởi hai mặt cầu có bán kính xấp xỉ bằng nhau và bằng bán kính của bọt). Áp suất trong hai bọt là:

$$p_1 = 4 + \frac{4\sigma}{d_1} \quad p_2 = 4 + \frac{4\sigma}{R_2} \quad (1)$$

Nếu $R_1 > R_2$ thì p_1 và $p_2 - p_1$ là áp suất phụ do mặt phân cách hai bọt gây ra. Gọi R' là bán kính cong của mặt phân cách đó thì áp suất phụ do mặt phân cách gây ra được tính theo công thức Laplátơ;

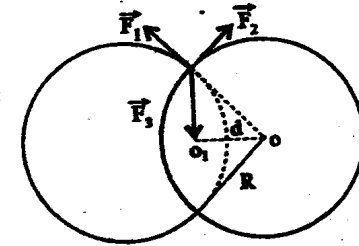
$$\Delta p = 2 \cdot \frac{2\sigma}{R'} = \frac{4\sigma}{R'}$$

(Vì áp suất phụ này do cả 2 mặt của mặt phân cách gây ra). Mặt khác, theo trên:

$$\Delta p = p_2 - p_1 = 4\sigma \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \text{ Như vậy ta có:}$$

$$\frac{4\sigma}{R'} = 4\sigma \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right); \text{ Suy ra: } R' = \frac{R_1 R_2}{R_1 - R_2}$$

b) Nếu $R_1 = R_2 = R$ thì mặt phân cách là mặt phẳng. Mỗi đơn vị dài của chu vi mặt phân cách đều chịu tác dụng của 3 lực căng đều bằng σ . Ba lực này phải cân bằng nhau, muốn vậy chúng phải là 3 vectơ đồng phẳng và từng đôi một làm với nhau góc 120° (Xem hình 2.20).



Hình 2.20

Vì $\vec{F}_2 \perp IO$, nên $\angle IO = 30^\circ$ suy ra $d = \frac{R}{2}$. Áp dụng công

thức tính thể tích chỏm cầu ta tính được thể tích của hai bọt dính vào nhau (bằng hai lần thể tích một bọt trừ đi thể tích chỏm cầu), kết quả là: $V = \frac{9}{4}\pi R^3$. Áp suất không khí

trong bọt xấp xỉ bằng áp suất khí quyển, cho nên, theo định luật Bôilơ – Mariôt, thể tích không đổi khi tạo thành một bọt mới có bán kính r, nghĩa là:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 = V. \text{ Từ đó: } \frac{9}{4}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi r^3; \text{ Suy ra: } r = \frac{3}{2}\sqrt[3]{2} R$$

2.35. Áp suất không khí P_1 trong ống có thể tính theo định luật Bôilơ – Mariôt: $P_0 V = P_1 V_1$, hay $P_0 S l = P_1 S (l-h)$, với S là tiết diện mao quản, l là chiều dài của ống.

Từ đó: $P_1 = \frac{P_0 l}{l-h}$ (1). Ta lại có phương trình cân bằng áp

suất (xét một điểm ở cột chất lỏng trong ống và ngang với mực chất lỏng ở bình): $P_0 = P_1 + Dgh - \Delta p$, (2) với Δp là áp suất

phụ hướng lên trên: $\Delta p = \frac{2\sigma}{r} = \frac{4\sigma}{d}$; Dgh là áp suất thuỷ tĩnh.

Từ (1) và (2) ta suy ra:

$$l = \frac{P_0 d h}{4\sigma - Dgh} + h$$

Thay số ta được: $l = 5,555 \text{ m} \approx 556 \text{ cm}$

2.36. Áp suất phụ gây bởi mặt khum giữa hai tấm thuỷ tinh là:

$$\Delta p = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = Dgh; \text{ Với } D \text{ là khối lượng riêng của}$$

chất lỏng. Ở đây:

$$R_1 = \frac{d}{2}; R_2 = \infty \quad \text{Vậy } D = \frac{2\sigma}{hdg} \approx 849 \text{ kg/m}^3.$$

2.37. Gọi T và p_0 là nhiệt độ và áp suất của khí quyển. Áp suất của không khí trong bong bóng là $p = p_0 + Dgh + \frac{2\sigma}{r}$ (1)

Khối lượng riêng của không khí ở khí quyển: $D_0 = \frac{\mu p_0}{RT}$;

Với μ là khối lượng mol của không khí, R là hằng số chất khí.

Khối lượng riêng của không khí trong bong bóng: $D = \frac{\mu p}{RT}$

Theo đề bài: $\frac{D}{D_0} = 5$; Ta được: $\frac{p}{p_0} = 5$;

Thay vào (1) ta được: $r = \frac{2\sigma}{4p_0 - Dgh} \approx 0,4 \mu\text{m}$

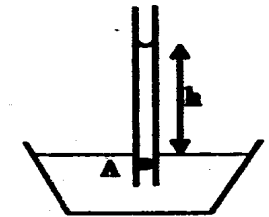
2.38.

$$p_{\max} = \frac{2\sigma}{R_0 - A} + Dgh + p_0; \quad p_{\min} = \frac{2\sigma}{R_0 - A} + Dgh + p_0.$$

2.39. Khi bình và ống mao dẫn được nâng lên với gia tốc a thì khối chất lỏng trong ống mao dẫn chịu tác dụng lực quán tính hướng xuống dưới. Do đó áp suất tại B (Hình 2.21) trong cột chất lỏng:

$P_B =$ Áp suất khí quyển + Áp suất phụ gây bởi mặt khum + Áp suất gây bởi cột chất lỏng + Áp suất gây bởi lực quán tính.

Nghĩa là: $P_B = P_0 - \Delta p + Dgh + Dah$.



Hình 2.21

Vì A và B cùng nằm trong một mặt phẳng nằm ngang nên:

$P_A = P_B = P_0$; từ đó $P_0 = P_0 - \Delta p + Dgh + Dah$; Suy ra:

$$h = \frac{\Delta p}{D(g+a)} \quad (1)$$

Khi ống mao dẫn và bình không chuyển động thì $\Delta p = Dgh$;

từ đó: $h_0 = \frac{\Delta p}{Dg} \quad (2);$

Từ (1) và (2) ta có:

$$\frac{h}{h_0} = \frac{g}{g+a} = \frac{1}{2} \quad (\text{vì } a = g)$$

Lập luận tương tự, khi ống và bình hạ xuống với gia tốc

$$a' = \frac{g}{2}, \text{ thì: } \frac{h}{h_0} = \frac{g}{g-a'} = 2$$

$$2.40. \quad p_z = p_0 - \frac{4 \cos \theta}{dh} z$$

2.41. Sự giảm đường kính của ống dòng là do lực căng mặt ngoài. Như vậy áp suất tĩnh trong phương trình Bécnu-li đối với trường hợp này phải kể thêm áp suất phụ gây bởi mặt thoáng cong của ống dòng. Các áp suất phụ này tính theo công thức Laplace:

$$\Delta p = d \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right);$$

Trong đó R_1 là bán kính của tiết diện ống dòng, còn R_2 là bán kính chính khúc của đường sinh. R_2 có giá trị lớn nên ta bỏ qua $1/R_2$ (với hình trụ $R_2 = \infty$). Áp dụng phương trình Bécnu-li đối với các tiết diện S_1, S_2 với các bán kính R_1 và R_2 , ta có:

$$\Delta p_1 + Dgh_1 + \frac{Dv_1^2}{2} = \Delta p_2 + Dgh_2 + \frac{Dv_2^2}{2} \quad (1)$$

$$\text{Ở đây: } \Delta p_1 = \frac{\sigma}{R_1}; \Delta p_2 = \frac{\sigma}{R_2}; \quad h_1 - h_2 = h = 3 \text{ cm};$$

Còn σ và D là hệ số căng mặt ngoài và khối lượng riêng của nước. Áp dụng phương trình liên tục, ta có $S_1 v_1 = S_2 v_2$,

$$\text{từ đó: } v_2 = \frac{v_1 S_1}{S_2} \quad (2); \quad \text{Từ (1) và (2) ta tìm được:}$$

$$v_1^2 = \frac{DghR_1R_2 - \sigma(R_1 - R_2)}{R_1} \cdot \frac{2R_2^3}{D(R_1^4 - R_2^4)}$$

$$\text{Thời gian cần tìm là: } \Delta t = \frac{v}{S_1 v_1} \quad \text{Thay số ta được: } \Delta t \approx 150 \text{ s.}$$

2.42. Muốn cho nước trong bình chảy hết ra ngoài qua ống mao dẫn (ống xi phông) cần thoả mãn hai điều kiện:

a) Nước phải dâng lên đến được đoạn ống nằm ngang (xem hình 2.23), nghĩa là (áp dụng công thức Juyranh):

$$h \leq \frac{4\sigma}{D_{gd}} = \frac{2\sigma}{D_{gr}} \quad (1)$$

b) Nước phải chảy được ra khỏi miệng ống bên trái; muốn vậy thì áp suất thuỷ tĩnh của phần nước trong ống bên trái có độ cao H phải thắng áp suất phụ của màng cong, nghĩa là:

$$D_{gr}h \geq \frac{2\sigma}{r} \quad (2)$$

$$\text{Phối hợp (1) và (2) ta được: } \frac{1}{2} D_{gr}h \leq \sigma \leq \frac{1}{2} D_{gr}H \quad (3)$$

$$\text{Từ đó ta tìm được: } \sigma_{\min} = \frac{1}{2} D_{gr}h = 70,5 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{1}{2} D_{gr}H = 75 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$$

Thay vào công thức: $\sigma = \sigma_0 - \alpha T$

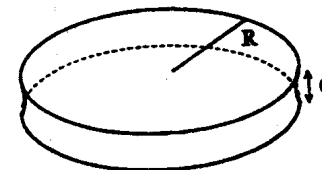
$$70,5 = 76 - 0,15 T_{\max} \quad 75 = 76 - 0,15 T_{\min}$$

$$\text{Rút ra: } T_{\max} \approx 36,7^\circ\text{C}; \quad T_{\min} \approx 6,7^\circ\text{C};$$

Vậy nước sẽ chảy ra khỏi bình nếu: $6,7^\circ\text{C} < T < 36,7^\circ\text{C}$.

2.43. Mặt ngoài của giọt nước bị ép giữa 2 tấm kính là một phần mặt cong tròn xoay (Hình 2.24), nó gây ra áp suất phụ hướng ra ngoài làm giảm áp suất bên trong giọt nước. Do đó áp suất khí quyển sẽ ép hai tấm kính lại. Ta hãy tính lực cần thiết để tách 2 tấm kính ra.

Áp dụng công thức Laplace:



Hình 2.24

$\Delta p = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$; ở đây ta lấy: $R_1 = \frac{d}{2}$; Còn $R_2 = R$.
 Còn $R_2 = R$ (bán kính của vết nước bị ép giữa hai tấm kính)
 và nói chung $R \gg \frac{d}{2}$, nên có thể bỏ qua $\frac{1}{R_2}$ so với $\frac{1}{R_1}$.

Lực F cần tính sẽ bằng: $F \geq \Delta p \cdot \pi R^2 = 2\pi R^2 \frac{\sigma}{d}$; Mặt khác,

khối lượng vết nước: $m = VD = (\pi R^2 \cdot d)D$, suy ra: $\pi R^2 = \frac{m}{dD}$;

Do đó:
$$F \geq \frac{2m\sigma}{Dd^2}$$

Thay số ta được: $F \geq 1,5 \cdot 10^4 \text{ N}$

2.44. Vì ống mao dẫn hàn kín đầu trên nên không áp dụng được công thức Juyranh. Phần không khí nén nằm trên mặt nước trong ống mao dẫn có áp suất:

$$p' = p_0 \frac{1}{1-h}; \text{ (áp dụng định luật Bôliơ - Mariốt), với } h \text{ là}$$

độ cao cột nước trong ống. Khi cột nước trong ống đã đứng cân bằng ta phải có:

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{R} = \frac{4\sigma}{d} = p' + Dgh = p_0 \frac{1}{1-h} + Dgh \quad (1)$$

(Dgh là áp suất thủy tĩnh của cột nước trong ống).
 Từ (1) ta sẽ rút ra một phương trình bậc hai đối với h. Thay số ($\sigma = 0,073 \text{ N/m}$; $D = 10^3 \text{ kg/m}^3$) và giải phương trình bậc hai ta được: $h_1 = 11 \text{ m}$ (loại, vì $h_1 > l$), và $h_2 = 14 \text{ mm}$.

2.45. Bong bóng xà phòng là một màng hình cầu rất mỏng, màng này có hai mặt ngoài (bên trong và bên ngoài) và vì màng rất mỏng nên có thể coi như bán kính của hai mặt ngoài này bằng nhau. Diện tích của chúng bằng

$S = 2 \cdot 4\pi R^2 = 8\pi R^2$. Ta coi màng xà phòng này được tạo nên từ một giọt nước xà phòng có diện tích mặt ngoài không đáng kể, cho nên công A cần để chống lại lực căng mặt ngoài khi tạo nên màng xà phòng sẽ bằng phần năng lượng mặt ngoài được tạo nên, nghĩa là:

$$A = \Delta W = \sigma S = \sigma \cdot 8\pi R^2 \approx 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ J}.$$

Sự chênh áp suất giữa không khí bên trong và bên ngoài màng xà phòng sẽ bằng áp suất phụ gây bởi màng xà phòng:

$$\Delta p = 2 \cdot \frac{2\sigma}{R} = \frac{4\sigma}{R} \approx 3,2 \text{ N/m}^2$$

§3. HƠI KHÔ VÀ HƠI BẢO HOÀ

I. KIẾN THỨC CẦN NHỚ

A. KIẾN THỨC CƠ BẢN

1. Trên mặt thoáng của chất lỏng thường xuyên có sự bay hơi và sự ngưng tụ. Trong cùng một thời gian nếu số phân tử thoát khỏi mặt chất lỏng nhiều hơn số phân tử quay trở lại chất lỏng thì ta có hiện tượng bay hơi, và hơi trên mặt thoáng gọi là *hơi khô*. Khi sự bay hơi và sự ngưng tụ cân bằng nhau hơi trên mặt thoáng gọi là *hơi bão hoà*.

Hơi khô tuân theo gần đúng các định luật của khí lí tưởng, trong đó có định luật Bôilơ – Mariôt, còn hơi bão hoà thì không tuân theo các định luật đó. Áp suất hơi bão hoà tăng theo nhiệt độ.

Ở một nhiệt độ nhất định hơi khô có áp suất nhỏ hơn áp suất hơi bão hoà. Có thể chuyển hơi khô thành hơi bão hoà và ngược lại bằng cách thay đổi một cách thích hợp nhiệt độ và áp suất của hơi.

2. Trong khí quyển có chứa hơi nước nên không khí có độ ẩm. *Độ ẩm tuyệt đối a* của không khí là đại lượng đo bằng khối lượng hơi nước (tính ra gam) chứa trong 1m^3 không khí. *Độ ẩm cực đại A* ở một nhiệt độ đã cho là đại lượng đo bằng khối lượng (tính ra gam) của *hơi nước bão hoà* chứa trong 1m^3 không khí ở nhiệt độ ấy. *Độ ẩm tương đối f* ở một nhiệt độ nhất định là thương số của độ ẩm tuyệt đối và độ ẩm cực đại của không khí ở cùng nhiệt độ:

$$f = \frac{a}{A} \cdot 100\%.$$

Nhiệt độ trong đó hơi nước trong không khí trở thành bão hoà gọi là *điểm sương*.

B. KIẾN THỨC BỔ SUNG

1. Quá trình biến đổi chất từ lỏng sang hơi gọi là *sự hoá hơi*, quá trình ngược lại gọi là *sự ngưng tụ* (hoặc *sự hoá lỏng*).

Sự hoá hơi xảy ra từ mặt thoáng của khối lỏng và ở mọi nhiệt độ gọi là *sự bay hơi*. Sự hoá hơi xảy ra cả từ mặt thoáng và cả từ trong lòng chất lỏng gọi là *sự sôi*. Sự sôi xảy ra ở nhiệt độ không đổi (dưới áp suất ngoài không đổi) gọi là *nhiệt độ sôi (điểm sôi)*, đó là nhiệt độ mà, ứng với nó, áp suất hơi bão hoà P_{bh} của chất lỏng trong các bọt hơi có trong lòng chất lỏng ít nhất cũng phải bằng áp suất ngoài tác dụng lên khối lỏng, nghĩa là: $P_{bh} \approx P_o$.

Ở đây P_{bh} là áp suất hơi bão hoà của chất ở nhiệt độ sôi, P_o là áp suất ngoài. Chính xác hơn, để khối lỏng sôi phải thoả mãn điều kiện: $P_{bh} \geq P_o + D_{gh} + \frac{2\sigma}{R}$

trong đó P_{bh} là áp suất hơi bão hoà trong bọt, D_{gh} là áp suất thuỷ tĩnh của phần khối lỏng bên trên tác dụng lên bọt hơi và $\frac{2\sigma}{R}$ là áp suất phụ của màng bao bọc hơi.

2. Áp suất hơi bão hoà tăng theo nhiệt độ và được xác định gần đúng bởi công thức $P_{bh} = n_o kT$, với n_o là mật độ phân tử hơi (n_o không phụ thuộc vào thể tích hơi), k là hằng số Bônxoman ($k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$).

3. *Độ ẩm tuyệt đối của không khí* còn có thể xác định bằng *áp suất riêng phần* của hơi nước chứa trong không khí ẩm và đo bằng đơn vị áp suất (N/m^2 hay mmHg). Một cách gần đúng có thể xác định áp suất riêng phần của hơi nước trong không khí ẩm bằng phương trình trạng thái của khí lí tưởng, tức là

$$P = \frac{1}{\mu} \frac{m}{V} RT$$

với μ là khối lượng mol; m và V tương ứng là khối lượng và thể tích của lượng hơi nước; R là hằng số khí ($R = 8,31 \text{ J/mol.K}$).

Độ ẩm tương đối ở một nhiệt độ nhất định còn có thể xác định bằng tỉ số giữa áp suất riêng phần P của hơi nước chứa trong không khí ở nhiệt độ đó và áp suất P_{bh} của hơi nước bão hoà trong không khí ở cùng nhiệt độ đó:

$$f = \frac{P}{P_{bh}} \%$$

Từ đó ta thấy, với độ ẩm tuyệt đối không đổi thì độ ẩm tương đối sẽ giảm khi tăng nhiệt độ của không khí (vì lúc đó P_{bh} tăng lên). Ngược lại sự làm lạnh (giảm nhiệt độ) không khí sẽ làm tăng độ ẩm tương đối.

Nếu làm lạnh hơi nước chưa bão hoà ở áp suất không đổi thì, sớm hay muộn, hơi nước này sẽ trở nên bão hoà. Khi làm lạnh không khí đến điểm sương thì hơi nước ngưng tụ lại: trong không khí xuất hiện sương mù, hơi nước đọng thành giọt sương và rơi xuống. Điểm sương đặc trưng cho độ ẩm của không khí vì nó giúp ta xác định được độ ẩm tuyệt đối và tương đối.

4. Khi hoá hơi khối lỏng thu nhiệt, đó là *nhiệt hoá hơi*, được tính theo công thức: $Q = L m$, với m là khối lượng chất lỏng đã hoá hơi và L là nhiệt hoá hơi riêng (có đơn vị là J/kg).

II. BÀI TẬP THÍ DỤ

1. Thí dụ 1.

Buổi chiều không khí có nhiệt độ 15°C , và độ ẩm tương đối là 64%. Ban đêm nhiệt độ không khí hạ xuống đến 5°C . Hơi có sương không? Nếu có sương thì có bao nhiêu hơi nước đã ngưng tụ trong 1m^3 không khí.

A. Giải. Sương tạo bởi các giọt nước nhỏ, do hơi nước bão hoà trong không khí ngưng tụ lại. Vì vậy muốn biết không khí ở nhiệt độ 5°C có sương không, ta phải xét xem ở nhiệt độ đó lượng hơi nước trong không khí có ở trạng thái bão hoà không. Trước hết tính lượng hơi nước chứa trong 1m^3 không khí ở 15°C .

Từ công thức về độ ẩm tương đối $f = \frac{a}{A}$ ta tính được độ ẩm tuyệt đối: $a = fA$, với $f = 64\% = 0,64$. Tra bảng đặc tính hơi nước bão hoà (SGK Vật lí 11 trang 31) ta thấy ở nhiệt độ $t = 15^\circ\text{C}$, độ ẩm cực đại.

$$A = D = 1,28 \cdot 10^{-2} \text{ kg/m}^3. \text{ Do đó}$$

$$a = 0,64 \cdot 1,28 \cdot 10^{-2} = 8,2 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$$

Bảng đặc tính hơi nước bão hoà cũng cho ta biết: Để làm bão hoà không khí ở nhiệt độ 5°C cần có $6,8 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$. So sánh với trị số của a , ta thấy $a > 6,8 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$, nghĩa là về đêm sẽ có sương, và lượng hơi nước đã bị ngưng tụ lại trong 1m^3 không khí bằng

$$m = a - 6,8 \cdot 10^{-3} = (8,2 - 6,8) \cdot 10^{-3} = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ kg}.$$

B. Chú ý: Đây là loại bài toán về độ ẩm không khí. Để làm loại bài toán này cần nắm chắc định nghĩa của độ ẩm không khí, biết cách tra Bảng đặc tính hơi nước bão hoà và dựa vào công thức: $f = \frac{a}{A} \%$

Cũng cần nắm được khái niệm điểm sương, vì biết được điểm sương ta xác định được độ ẩm. Biết độ ẩm, điểm sương có thể xác định lượng hơi nước ngưng tụ; và ngược lại biết lượng hơi nước đã bị ngưng tụ có thể xác định độ ẩm, điểm sương.

2. Thí dụ 2.

Một phòng kín có thể tích $V = 60\text{m}^3$ và nhiệt độ $t = 20^\circ\text{C}$, độ ẩm của không khí là 50%. Áp suất trong phòng là $P_0 = 10^5 \text{ Pa}$.

1) Tính khối lượng nước cần đun cho bay hơi để hơi nước trong phòng thành bão hoà.

2) Tính khối lượng không khí ẩm trong phòng khi độ ẩm tương đối là:

a) 50%; b) 100%. Tính áp suất mới trong phòng.

3) Nếu độ ẩm tương đối tăng lên 100% người ta cho thoát một ít không khí để giữ cho áp suất vẫn bằng P_0 thì không khí ẩm trong phòng có khối lượng bằng bao nhiêu. So sánh với trường hợp khi độ ẩm tương đối là 50% và giải thích. Cho biết áp suất hơi nước bão hoà ở 20°C là $P_{bh} = 2300 \text{ Pa}$.

A. Giải.

1) Coi hơi nước như khí lí tưởng, ta tính được khối lượng riêng của hơi nước bão hoà ở $T = 20 + 273 = 293 \text{ K}$ (với $m = 0,018 \text{ kg/mol}$)

$$D_{bh} = \frac{m_{bh}}{v} = \frac{P_{bh} \cdot \mu}{RT} = \frac{2300 \cdot 0,018}{8,31293} = 0,017 \text{ kg/m}^3$$

Độ ẩm tương đối bằng 50% có nghĩa là khối lượng riêng của hơi nước trong phòng bằng:

$$D_n = 50\% \cdot D_{bh} = 0,5 \cdot 0,017 \text{ kg/m}^3 = 0,0085 \text{ kg/m}^3$$

Đó cũng chính là lượng hơi nước cần tạo thêm trong 1 m^3 của phòng để hơi nước trong phòng thành bão hoà, nghĩa là độ ẩm tương đối của không khí trong phòng bằng 100%. Vậy khối lượng nước cần đun cho bay hơi để hơi nước trong phòng thành bão hoà bằng: $m_n = VD_n = 60 \cdot 0,0085 \approx 0,51 \text{ kg}$.

2) Khối lượng không khí ẩm là tổng của khối lượng không khí khô và khối lượng hơi nước.

a) Khi độ ẩm tương đối là 50% thì áp suất P_n của hơi nước trong phòng bằng $1/2$ áp suất hơi bão hoà (theo định nghĩa của độ ẩm tương đối).

$$P_n = 0,5 \cdot P_{bh} = 0,5 \cdot 2300 = 1150 \text{ Pa}$$

Theo định luật Đantơn, áp suất trong phòng P_0 bằng tổng các áp suất của không khí khô P_k và áp suất hơi nước P_n :

$$P_0 = P_k + P_n, \text{ từ đó}$$

$$P_k = P_0 - P_n = 10^5 - 1150 = 98850 \text{ Pa}$$

Áp dụng phương trình trạng thái khí lí tưởng ta có khối lượng riêng của không khí khô bằng với $\mu = 0,029 \text{ kg/mol}$.

$$D_k = \frac{m_k}{v} = \frac{P_k \cdot \mu}{RT} = \frac{98850 \cdot 0,029}{8,31293} = 1,177 \text{ kg/m}^3$$

Do đó khối lượng riêng của không khí ẩm:

$$D = D_k + D_n = 1,177 + 0,0085 \approx 1,186 \text{ kg/m}^3$$

Từ đó khối lượng không khí ẩm trong phòng là:

$$m_0 = 1,186 \cdot 60 = 71,16 \text{ kg}$$

b) Theo câu 1, khi độ ẩm là 100%, thì ta đã có $D_{bh} = 0,017 \text{ kg/m}^3$ và biết khối lượng riêng của không khí khô trong phòng $D_k = 1,177 \text{ kg/m}^3$. Do đó khi độ ẩm tương đối là 100%, khối lượng riêng của không khí ẩm bão hoà bằng:

$$D = D_{bh} + D_k = 1,194 \text{ kg/m}^3$$

Khối lượng toàn bộ không khí ẩm bão hoà trong phòng là:

$$m = DV = 1,194 \cdot 60 = 71,64 \text{ kg}$$

Từ phương trình trạng thái: $PV = \frac{m}{\mu} RT$

ta thấy áp suất p tỉ lệ với khối lượng m khi nhiệt độ vẫn bằng T (μ của không khí ẩm biến đổi không đáng kể), nghĩa là:

$$\frac{P}{P_0} = \frac{m}{m_0}, \text{ suy ra } P = \frac{m}{m_0} P_0 = \frac{71,64}{71,16} \cdot 10^5 = 1,0067 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

3) Nếu cho thoát một ít không khí để cho áp suất trong phòng vẫn là P_0 , thì vì áp suất hơi nước vẫn là áp suất bão hoà P_{bh} (độ ẩm tương đối vẫn là 100%) và áp suất toàn phần là P_0 , nên áp suất không khí khô là:

$$P'_k = P_0 - P_{bh} = 10^5 - 2300 = 97700 \text{ Pa};$$

từ đó khối lượng riêng của không khí khô là:

$$D'_k = \frac{P'_k \cdot \mu}{RT} = \frac{97700 \cdot 0,029}{8,31 \cdot 293} = 1,164 \text{ kg/m}^3$$

và khối lượng riêng của không khí ẩm là:

$$D' = D'_k + D_{bh} = 1,164 + 0,017 = 1,181 \text{ kg/m}^3$$

Khối lượng của không khí ẩm là:

$$m' = D'V = 1,181 \cdot 60 = 70,86 \text{ kg}$$

Ta thấy $m' < m_0$.

Ta nhận thấy rằng độ ẩm cao hơn, nhưng khối lượng không khí ẩm lại bé hơn. Đó là vì: $n = \frac{P_0}{kT}$

mật độ phân tử không đổi, nhưng một số phân tử không khí đã được thay thế bằng phân tử hơi nước nhẹ hơn:

$$\mu(\text{hơi nước}) = 0,0181 \text{ kg/mol} < \mu(\text{không khí}) = 0,029 \text{ kg/mol}.$$

B.Chú ý: Đây là loại bài toán tổng hợp về độ ẩm của không khí có đề cập đến áp suất (cần cứ vào định nghĩa khác về độ ẩm có liên quan đến áp suất) và về áp suất hơi khô và hơi bão hoà. Do đó cần vận dụng phương trình trạng thái của chất khí (xem đoạn “Kiến thức bổ sung”). Và vì vậy, các lập luận và tính toán phức tạp hơn nhiều (trên cơ sở đã giải được các bài toán về chất khí) và đòi hỏi vận dụng nhiều kiến thức đã học trước đây (Ở lớp 10) về Vật lý phân tử và nhiệt học. Trong loại bài toán này cũng thường dùng khái niệm “không khí ẩm” (không khí có chứa hơi nước), khối lượng không khí ẩm (là tổng của khối lượng không khí khô và khối lượng hơi nước). Cần phân tích kỹ đề bài để từ đó biết được là cần vận dụng các công thức nào để giải bài toán.

III.BÀI TẬP LUYỆN TẬP

3.1. Một phòng có kích thước $3\text{m} \times 4\text{m} \times 5\text{m}$, nhiệt độ không khí trong phòng là 20°C , điểm sương là 12°C . Hãy tính độ ẩm tuyệt đối và độ ẩm tương đối của không khí, và lượng hơi nước có trong phòng.

3.2. Một phòng có thể tích 60m^3 , nhiệt độ không khí là 28°C , điểm sương là 8°C . Cần phải làm bay hơi một lượng nước bằng bao nhiêu để hơi nước trong phòng trở thành bão hoà?

3.3. Giả sử trong một vùng không khí có thể tích 70km^3 có chứa hơi nước bão hoà ở 20°C . Hỏi nếu nhiệt độ hạ thấp tới 11°C qua quá trình tạo mây lượng nước mưa rơi xuống bằng bao nhiêu?

3.4. Độ ẩm tương đối của không khí ở nhiệt độ $t_1 = 22^\circ\text{C}$ là 80%. Hỏi khi nhiệt độ hạ xuống còn $t_2 = 10^\circ\text{C}$ thì khối lượng nước bị ngưng tụ trong 1m^3 không khí bằng bao nhiêu. Cho biết áp suất hơi nước bão hoà ở 22°C là $P_{1bh} = 2,6 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ và ở 10°C là $P_{2bh} = 1,2 \cdot 10^3 \text{ Pa}$.

3.5. Trong một phòng có kích thước $3 \times 5 \times 10 \text{ m}^3$ không khí có nhiệt độ 20°C và điểm sương là 10°C . Tính độ ẩm tương đối của không khí và lượng hơi nước chứa trong phòng đó.

3.6. Trong một ống hàn kín, thể tích 0,4 lít có chứa hơi nước ở áp suất 60 mmHg, ở nhiệt độ 150°C . Tính khối lượng hơi nước dính trên thành ống khi làm lạnh ống đến 22°C .

3.7. Một người đeo kính từ ngoài đường có nhiệt độ $t_1 = 10^\circ\text{C}$ bước vào một phòng có nhiệt độ $t_2 = 20^\circ\text{C}$. Hỏi độ ẩm tương đối của không khí trong phòng có giá trị cực đại bằng bao nhiêu thì kính của người ấy không bị mờ (vì hơi nước ngưng tụ)? Cho biết áp suất hơi nước bão hoà ở t_1 là $P_1 = 1200 \text{ Pa}$, ở t_2 là $P_2 = 2300 \text{ Pa}$.

3.8. Một mét khối không khí, với độ ẩm tương đối 60% ở nhiệt độ 20°C và áp suất 10^5 Pa , có khối lượng là 1,2004 kg. Tính áp suất hơi nước bão hoà ở nhiệt độ 20°C .

3.9. Không khí trong một phòng kín có thể tích 90m^3 ở nhiệt độ 20°C và có độ ẩm tương đối 50%. Muốn tăng độ ẩm tương đối của không khí trong phòng đến 60% thì phải làm bay hơi trong phòng một lượng nước bằng bao nhiêu.

3.10. Một đám mây dày 5 km là không khí có độ ẩm tương đối 80% và nhiệt độ $t_1 = 20^\circ\text{C}$. Tính bề dày của lớp nước mưa trên mặt đất khi nhiệt độ đám mây tụt xuống $t_2 = 50^\circ\text{C}$. Cho biết áp suất hơi nước bão hoà ở t_1 là $P_1 = 2300 \text{ Pa}$ và ở $t_2 = 870 \text{ Pa}$.

3.11. Trong một xilanh có pittông có thể dùng để nén hay giãn khí, chứa không khí ở 25°C với độ ẩm tương đối 56%. Đẩy từ từ pittông để giảm thể tích của buồng kín sao cho hơi nước trong xilanh chuyển sang trạng thái bão hoà. Cho rằng quá trình nén khí là đẳng nhiệt, hãy tính thể tích của xilanh sau quá trình nén khí biết rằng thể tích ban đầu của nó bằng 400 cm^3 .

3.12. Một máy điều hoà mỗi giây hút 2 m^3 không khí từ khí quyển có nhiệt độ $t_1 = 40^\circ\text{C}$ và độ ẩm tương đối 80%. Máy làm cho không khí lạnh xuống, $t_2 = 5^\circ\text{C}$ và đưa vào phòng đặt máy. Sau một thời gian máy hoạt động, nhiệt độ trong phòng hạ xuống còn $t_3 = 25^\circ\text{C}$. Tính lượng nước đã ngưng tụ mỗi giờ ở máy và độ ẩm tương đối trong phòng. Cho biết áp suất hơi nước bão hoà ở các nhiệt độ t_1, t_2, t_3 tương ứng bằng:

$$P_{1bh} = 7400 \text{ Pa}; P_{2bh} = 870 \text{ Pa}; P_{3bh} = 3190 \text{ Pa}.$$

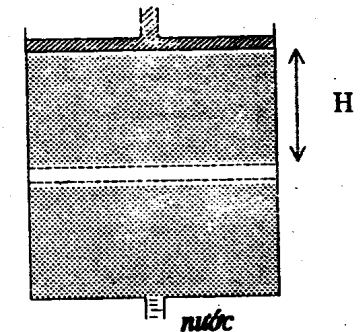
3.13. Trong một bình kín có khí nitơ ở nhiệt độ phòng $t_0 = 20^\circ\text{C}$ và áp suất $P_0 = 10^5 \text{ N/m}^2$. Người ta rót vào bình một ít nitơ lỏng ở nhiệt độ $t_1 = -196^\circ\text{C}$ (đó là nhiệt độ sôi của nitơ lỏng ở áp suất chuẩn). Nitơ lỏng bay hơi nhanh, sau đó nhiệt độ trong bình là $t_2 = -140^\circ\text{C}$. Sau khi bình lại nóng đến nhiệt độ phòng thì áp suất trong bình là $P = 1,5 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$. Tính nhiệt hoá hơi mol λ của nitơ lỏng. Cho biết nhiệt dung mol của khí nitơ ở thể tích không đổi là $C_v = 20,8 \text{ J/mol.K}$.

3.14. Không khí được hút nhanh ra khỏi một bình cách nhiệt chứa nước ở 0°C . Có 12,7% nước bay hơi, số còn lại đông đặc. Tính nhiệt bay hơi của nước. Cho biết nhiệt nóng chảy của nước đá là 330 kJ/kg .

3.15. Hai bình, mỗi bình dung tích $V = 10 \text{ lít}$, chứa đầy không khí khô ở áp suất $P_0 = 1 \text{ atm}$ và nhiệt độ $t^\circ = 0^\circ\text{C}$. Người ta rót vào bình thứ nhất $m_1 = 3 \text{ g}$ nước và vào bình thứ hai $m_2 = 15 \text{ g}$ nước, sau đó nút kín các bình và đun nóng chúng đến nhiệt độ $t = 100^\circ\text{C}$. Tính áp suất của không khí ẩm ở nhiệt độ đó trong mỗi bình.

3.16. Một bình kín hình trụ có thể tích 20 l , ở giữa có một vách ngăn di động được, chia nó làm hai phần A và B. Phần A chứa 18 g nước; phần B chứa 14 g nitơ. Bình được đun nóng đến 100°C . Hãy tính thể tích của các phần A, B và áp suất ở trong bình. Nếu vách ngăn bị thủng thì áp suất trong bình bằng bao nhiêu. Cho biết áp suất hơi nước bão hoà ở 100°C là 10^5 Pa .

3.17. Ở cuống của một bình hình trụ đóng kín bằng một pittông đường kính $d_1 = 5 \text{ cm}$ có một ít nước (xem hình 3.1). Cuống cũng có dạng hình trụ với đường kính $d_2 = 2 \text{ mm}$. Nếu ở nhiệt độ không đổi ta hạ pittông xuống một khoảng $H = 10 \text{ cm}$ thì mực nước trong cuống cao thêm $h = 1 \text{ mm}$. Tính áp suất hơi bão hoà của nước ở $t = 20^\circ\text{C}$. Bỏ qua ảnh hưởng của không khí trong bình.



Hình 3.1

3.18. Người ta bơm 200 g hơi nước, ở nhiệt độ $t_1 = 150^\circ\text{C}$ và áp suất $p = 1 \text{ atm}$, vào một bình chứa 2 lít nước và $0,5 \text{ kg}$ nước đá ở $t_2 = 0^\circ\text{C}$. Tìm nhiệt độ cuối cùng t trong bình đó. Cho biết: nhiệt dung của bình $C = 0,63 \text{ kJ/kg}$; nhiệt dung riêng của nước và của hơi nước lần lượt bằng $c_1 = 4,19 \text{ kJ/kg.K}$, $C_2 = 1,97 \text{ kJ/kg.K}$; nhiệt nóng chảy của nước đá $r = 330 \text{ kJ/kg}$ và nhiệt hoá hơi của nước là $L = 2260 \text{ kJ/kg}$.

3.19. Rót vào cốc hai chất lỏng không trộn lẫn được nước và CCl_4 (cacbon tetra clorua); nước ở bên trên. Ở áp suất chuẩn thì CCl_4 sôi ở $76,7^\circ\text{C}$ còn nước ở 100°C . Khi đun nóng đều cốc đó trong thùng nước đến nhiệt độ $65,5^\circ\text{C}$ thì sự sôi xảy ra ở mặt phân cách hai chất lỏng trong cốc. Hãy cho biết khối lỏng nào sôi nhanh hơn trong hiện tượng sôi này (nghĩa là xét trong cùng một thời gian lượng chất lỏng nào hoá hơi nhiều hơn thì sôi nhanh hơn) và sôi nhanh hơn bao nhiêu lần. Cho biết áp suất hơi bão hoà của nước ở $65,5^\circ\text{C}$ bằng 192 mmHg.

3.20. Ở đáy một cốc nước có một ống nhỏ hàn kín một đầu và chứa không khí. Đường kính trong của ống $d = 0,2 \text{ mm}$, chiều cao của khối nước trong cốc là $h = 10 \text{ cm}$. Khi nước trong cốc được đun sôi, ở đầu hở của ống nhỏ thoát ra các bọt hơi nước. Tính nhiệt độ của nước ở đáy cốc khi đó. Cho biết áp suất khí quyển là $P_0 = 10^5 \text{ N/m}^2$; hệ số căng mặt ngoài lấy bằng $\sigma = 57 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$. coi rằng áp suất hơi bão hoà của nước ở khoảng nhiệt độ 100°C tăng thêm 27 mmHg cho mỗi độ.

HƯỚNG DẪN GIẢI VÀ ĐÁP SỐ

3.1. Độ ẩm tuyệt đối a của không khí trong phòng ở nhiệt độ 20°C chính là độ ẩm cực đại A ở điểm sương 12°C . Theo Bảng đặc tính hơi nước bão hoà ở 12°C ta có: $a = 10,7 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$. Để làm bão hoà không khí ở 20°C , ta có:

$A = 17,3 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$. Độ ẩm tương đối của không khí:

$$f = \frac{a}{A} = \frac{10,7 \cdot 10^{-3}}{17,3 \cdot 10^{-3}} = 0,62$$

$f = 62\%$. Thể tích của phòng: $V = 3 \times 4 \times 5 = 60 \text{ m}^3$.

Vậy lượng hơi nước có trong phòng là:

$$m = aV = 10,7 \cdot 10^{-3} \cdot 60 = 0,64 \text{ kg}.$$

3.2. Vì điểm sương là 8°C , tra Bảng đặc tính hơi nước bão hoà, ta thấy khối lượng hơi nước đã có trong phòng là:

$$m_1 = 8,3 \cdot 10^{-3} \cdot 60 = 0,498 \text{ kg}.$$

Cũng theo Bảng đặc tính hơi nước bão hoà, muốn cho hơi nước trong phòng trở thành bão hoà, trong phòng cần có một lượng hơi nước bằng:

$$m_2 = 27,2 \cdot 10^{-3} \cdot 60 = 1,632 \text{ kg}.$$

Vậy cần phải làm bay hơi trong phòng một lượng nước bằng:

$$m_2 - m_1 = 1,134 \text{ kg}.$$

3.3. Tra Bảng đặc tính hơi nước bão hoà, ta có: khối lượng riêng của hơi nước bão hoà ở 20°C và ở 11°C là $D_1 = 17,3 \text{ g/m}^3$, $D_2 = 10,0 \text{ g/m}^3$. Thể tích của vùng không khí đó bằng: $V = 70 \text{ km}^3 = 7 \cdot 10^{10} \text{ m}^3$.

• Lượng hơi nước đã có trong vùng không khí đó bằng:

$$m_1 = D_1 V = 17,3 \cdot 10^{-3} \cdot 7 \cdot 10^{10} = 1,211 \cdot 10^9 \text{ kg}.$$

Khi nhiệt độ giảm xuống còn 11°C , trong vùng không khí đó chỉ có thể chứa một lượng hơi nước bằng:

$$m_2 = D_2 V = 10,0 \cdot 10^{-3} \cdot 7 \cdot 10^{10} = 10^8 \text{ kg}.$$

Vậy lượng nước mưa đã rơi xuống là:

$$m_1 - m_2 = (12,11 - 1) 10^8 \approx 1,1 \cdot 10^9 \text{ kg}.$$

3.4. Ở nhiệt độ $t_1 = 22^\circ\text{C}$ ($T_2 = 22 + 273 = 295 \text{ K}$) độ ẩm tương đối là 80% có nghĩa là áp suất hơi nước trong không khí là $p = 0,8 \cdot 2,6 \cdot 10^3 = 2,08 \cdot 10^3 \text{ Pa}$. coi hơi nước như là khí lí tưởng, ta tính khối lượng riêng của hơi nước theo công thức:

$$d_1 = \frac{m}{V} = \frac{P \mu}{RT_1} = \frac{2080 \cdot 0,018}{8,31 \cdot 295} \approx 15,27 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$$

Ở nhiệt độ $t_2 = 10^\circ\text{C}$ ($T_2 = 10 + 273 = 283\text{ K}$) khối lượng riêng của hơi nước bão hoà bằng:

$$d_{bh} = \frac{P_{bh} \cdot \mu}{RT_2} = \frac{1200 \cdot 0,018}{8,31 \cdot 283} = 9,2 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$$

Vậy khối lượng hơi nước ngưng tụ trong 1 m^3 không khí bằng:

$$d_1 - d_{bh} = 6,07 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3 = 6,07 \text{ g/m}^3.$$

3.5. $54,5\%$; $m = 1,41 \text{ kg}$.

3.6. $m = 9 \text{ mg}$.

3.7. Người ấy bước vào phòng thì kính còn giữ nhiệt độ t_1 làm cho lớp không khí tiếp xúc cũng có nhiệt độ ấy. Không có ngưng tụ nếu độ ẩm của lớp không khí ấy nhỏ hơn 100%, nghĩa là $d < d_1$, với d là khối lượng riêng của hơi nước sẵn có trong phòng, và d_1 là khối lượng hơi nước bão hoà ở nhiệt độ

$$T_1 = t_1 + 273 = 280 \text{ K. với } d_1 = \frac{P_1 \mu}{RT_1} \quad (2)$$

Ta tính d . Phòng có nhiệt độ $T_2 = t_2 + 273 = 293 \text{ K}$ ứng với áp suất hơi nước bão hoà P_2 , tức là khối lượng riêng của hơi nước bão hoà $d_2 = \frac{P_2 \mu}{RT_2}$.

Nếu f là độ ẩm tương đối sẵn có thì khối lượng riêng của hơi nước sẵn có là:

$$d = fd_2 = f \frac{P_2 \mu}{RT_2} \quad (3)$$

Thay (2) và (3) vào (1) ta có:

$$f \cdot \frac{P_2 \mu}{RT_2} < \frac{P_1 \mu}{RT_1}, \text{ rút ra}$$

$$f < \frac{P_1 T_2}{P_2 T_1} = \frac{1200 \cdot 293}{2300 \cdot 283} = 54\% \rightarrow f < 54\%$$

3.8. Không khí ẩm là hỗn hợp không khí khô và hơi nước. Ta xét từng thành phần của hỗn hợp và thiết lập phương trình trạng thái đối với mỗi thành phần đó. Gọi m_k , P_k , μ_k , m_n , P_n , μ_n và M , p tương ứng là khối lượng và áp suất và khối lượng mol của không khí khô, của hơi nước và của không khí ẩm, ta có:

$$M = m_k + m_n; \quad P = P_k + P_n;$$

$$P_k V = \frac{m_k}{\mu_k} RT; \quad P_n V = \frac{m_n}{\mu_n} RT$$

Biết $T = 20 + 273 = 293 \text{ K}$ và $f = \frac{P_n}{P_{bh}} = 60\% = 0,6$

Từ đó rút ra

$$P_{bh} = \frac{1}{f} \left[\frac{P \mu_k}{\mu_k - \mu_n} - \frac{MTR}{V(\mu_k - \mu_n)} \right] \approx 17,5 \text{ mmHg}$$

3.9. Tra Bảng đặc tính hơi nước bão hoà, ở 25°C độ ẩm cực đại của không khí là $A = 23 \text{ g/m}^3$. Vậy độ ẩm tuyệt đối của không khí trong phòng là:

lui đầu bảng $a = fA$

sau đó cân bằng $a' = f'A$

Khối lượng nước cần làm bay hơi trong phòng

$$m = a'V - aV = (a - a')V \approx 0,207 \text{ kg}$$

3.10. Khối lượng riêng của hơi nước bão hoà ở $t_1 = 20^\circ\text{C}$

($T_1 = 20 + 273 = 293 \text{ K}$) là:

$$D_1 = \frac{m_1}{V} = \frac{P_1 \mu}{RT_1} = \frac{2300 \cdot 0,018}{8,31 \cdot 293} = 0,017 \text{ kg/m}^3$$

Khối lượng riêng của hơi nước trong đám mây là (độ ẩm tương đối 80%):

$$d = 0,8 d_1 = 0,0136 \text{ kg/m}^3$$

Nếu nhiệt độ tụt xuống $t_2 = 5^\circ\text{C}$ ($T_2 = 5 + 273 = 278\text{ K}$) thì hơi nước bão hoà có khối lượng riêng là:

$$D_2 = \frac{P_2 \mu}{RT_2} = \frac{870,0,018}{8,31287} = 0,0068 \text{ kg/m}^3$$

Vậy trong mỗi m^3 lượng nước ngưng tụ rơi xuống là:

$$0,0136 - 0,0068 = 0,0068 \text{ kg.}$$

Mỗi m^3 trên mặt đất ứng với $1\text{m}^2 \cdot 5 \text{ km} = 5000 \text{ m}^3$ mây, khối mây này trút xuống mặt đất $0,0068 \cdot 5000 = 34 \text{ kg}$ nước, tạo thành lớp nước dày:

$$\frac{34\text{dm}^3}{10^2\text{dm}^2} = 0,34 \text{ dm} = 3,4 \text{ cm}$$

3.11. Độ ẩm tuyệt đối của không khí trong xilanh:

$a = fA$, với $A = 23 \text{ g/m}^3$ (độ ẩm cực đại ở 25°C)

$f = 56\% = 0,56$; từ đó $a = 0,56 \cdot 23 = 12,9 \text{ g/m}^3$. Độ ẩm tuyệt đối của không khí trong xilanh tương ứng với áp suất hơi nước bằng $p_1 = 12,8 \text{ mmHg}$ (xem Bảng đặc tính hơi nước bão hoà). Muốn chuyển sang trạng thái hơi bão hoà ở 25°C ta phải nén khí sao cho áp suất hơi nước trong xilanh bằng $p_2 = 23,8 \text{ mmHg}$. Vì quá trình nén khí là đẳng nhiệt, áp dụng định luật Bôilơ-Mariôt ta có: $P_1 V_1 = P_2 V_2$, suy ra

$$V_2 = \frac{12,8 \cdot 400}{23,8} \approx 215 \text{ cm}^3$$

3.12. Áp suất hơi nước trong khí quyển là:

$$P_1 = 0,8 \cdot P_{1bh} = 5920 \text{ Pa}$$

Khối lượng riêng của hơi nước đó ở nhiệt độ $t_1 = 40^\circ\text{C}$ ($T_1 = 313 \text{ K}$) là:

$$D_1 = \frac{P_1 \mu}{RT} = 0,041 \text{ kg/m}^3 \quad (\mu = 0,018 \text{ kg/mol})$$

Ở máy điều hoà không khí có nhiệt độ $t_2 = 5^\circ\text{C}$ ($T_2 = 278 \text{ K}$) nên khối lượng riêng của hơi nước tối đa bằng khối lượng riêng của hơi bão hoà ở t_2 :

$$D_2 = \frac{P_{2bh} \mu}{RT_2} = 0,0068 \text{ kg/m}^3$$

Lượng nước ngưng tụ trong 1m^3 không khí là:

$$0,041 - 0,0068 \approx 0,034 \text{ kg}$$

Lượng nước ngưng tụ ở máy mỗi giờ là:

$$0,034 \cdot 2 \cdot 3600 = 244,8 \text{ kg.}$$

Sau một thời gian không khí trong phòng là không khí đã đi qua máy, nghĩa là không khí có hơi nước với khối lượng riêng $D_2 = 0,0068 \text{ kg/m}^3$

Ở nhiệt độ $t_3 = 25^\circ\text{C}$ ($T_3 = 298 \text{ K}$) khối lượng riêng của hơi nước bão hoà là:

$$t_3 = \frac{P_{3bh} \mu}{RT_3} = 0,023 \text{ kg/m}^3$$

Vậy độ ẩm tương đối trong phòng là:

$$f = \frac{D_2}{D_3} = \frac{0,0068}{0,023} = 0,296 = 29,6\%$$

3.13. Vì nitơ lỏng bay hơi nhanh nên coi như không có trao đổi nhiệt độ với bên ngoài. Nitơ lỏng bay hơi và sau đó được làm nóng từ nhiệt độ t_1 đến nhiệt độ t_2 nhờ có nhiệt lượng lấy từ lượng m_1 khí nitơ lúc đầu. Ta viết phương trình cân bằng nhiệt:

$$C_v \frac{m_1}{\mu} (t_0 - t_2) = \frac{m_2}{\mu} [L + C_v (t_2 - t_1)] \quad (1)$$

với m_2 là khối lượng khí nitơ lúc sau. Viết phương trình trạng thái cho hai lượng khí nitơ lúc đầu và lúc sau, ta có:

$$P_0 V = \frac{m_1}{\mu} RT \quad (2)$$

$$PV = \frac{(m_1 - m_2)}{\mu} RT \quad (3)$$

từ đó $\frac{P}{P_0} = \frac{m_2 + m_1}{m_1} = 1 + \frac{m_2}{m_1}$ Theo đề bài

$P_0 = 10^5 \text{ N/m}^2$ và $P = 1,5 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$,

suy ra $\frac{m_2}{m_1} = 0,5$

Từ (1) rút ra $L = \left[\frac{(t_0 - t_2)m_1}{m_2} - (t_2 - t_1) \right] C_v$

Thay số ta được $L = 5500 \text{ J/mol}$

3.14. Gọi m là khối lượng nước trong bình. $0,127 \text{ m}$ nước lỏng bay hơi thu một nhiệt lượng bằng $0,127 \text{ mL}$, với L là nhiệt bay hơi. Vì bình là cách nhiệt nên lượng nhiệt này là do phần nước còn lại $(1 - 0,127)m = 0,873 \text{ m}$ cung cấp. Nhiệt tỏa ra khi nước đông đặc cũng bằng nhiệt nó thu khi nóng chảy. Vậy $0,873 \text{ m}$ nước lỏng đông đặc đã cung cấp một lượng nhiệt $(0,873 \text{ m} \cdot 330) \text{ kJ/kg}$. Từ đó

$$0,873 \cdot 330 \text{ m} = 0,127 \cdot m \cdot L$$

suy ra $L = 2270 \text{ kJ/kg}$.

3.15. Điều cần lưu ý trong bài toán này là phải xác định xem: Khi đun nóng các bình đến 100°C thì những lượng nước rót vào các bình có chuyển hết sang thể hơi hay không. Áp dụng định luật Sác-lơ để tính áp suất riêng phần của không khí có trong mỗi bình sau khi đã đun nóng đến 100°C :

$$p = p_0 \frac{T}{T_0} = \frac{(273 + 100)}{273} \cdot 1 = 1,37 \text{ atm}$$

Áp suất của hơi nước có trong bình 1 ở 100°C có thể tính theo phương trình trạng thái của khí ($v = 10 \text{ lít} = 0,01 \text{ m}^3$)

$$p_1 = \frac{m_1 RT}{V \mu} = \frac{1}{0,01} \cdot \frac{0,0038 \cdot 8,31 \cdot 373}{0,018}$$

$$\approx 51,5 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2 \approx 0,51 \text{ atm}$$

Vậy áp suất của không khí ẩm có trong bình 1 bằng:

$$P + P_1 = 1,37 + 0,51 = 1,88 \text{ atm.}$$

Tương tự như trên ta tính áp suất riêng phần hơi của nước trong bình 2, với giả thiết là toàn bộ 15 g nước đều hoá hơi hết:

$$P_2 = \frac{1}{0,01} \cdot \frac{0,015 \cdot 8,31 \cdot 373}{0,018} \approx 2,57 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 > 1 \text{ atm}$$

Điều này không thể xảy ra vì ở 100°C áp suất riêng phần của hơi nước lớn nhất cũng chỉ là 1 atm mà thôi. Như vậy ở bình 2 chỉ có một phần nước được hoá hơi và áp suất không khí ẩm ở bình 2 là: $P + P_2 = 1,37 + 1 = 2,37 \text{ atm}$.

3.16. Nếu nước bay hơi toàn bộ và chiếm toàn bộ thể tích 20 l của bình thì áp suất là:

$$(T = 100 + 273 = 373 \text{ K}; V = 20 \text{ lít} = 0,02 \text{ m}^3):$$

$$P_1 = \frac{m_1 RT}{V \mu_1} = \frac{0,018 \cdot 8,31 \cdot 373}{0,020 \cdot 0,018} = 154980 \text{ Pa} > 10^5 \text{ Pa.}$$

Như vậy nước không thể bay hơi hết và áp suất ở A phải bằng 10^5 Pa nếu nước bay hơi một phần, hoặc lớn hơn 10^5 Pa thì nước vẫn ở thể lỏng (khi $V_A \approx 0$)

Nếu thể tích phần B chiếm toàn bộ 20 l và 14 g nitơ bay hơi hết thì áp suất sẽ bằng:

$$P_2 = \frac{m_2 RT}{V \mu_2} = \frac{0,014 \cdot 8,31 \cdot 373}{0,020 \cdot 0,018} \approx 77490 \text{ Pa} < 10^5 \text{ Pa.}$$

Như vậy $P_2 < 10^5 \text{ Pa}$ và do đó phải có một phần nước ở phần A bay hơi, và

$$P_A = P_B = 10^5 \text{ Pa}$$

Từ đó suy ra:

$$V_B = \frac{m_2 RT}{P_B \mu_2} = \frac{0,014 \cdot 8,31 \cdot 373}{10^5 \cdot 0,028} = 0,0155 \text{ m}^3.$$

$$\text{hay } V_B = 15,5 \text{ lít và } V_A = 20 - 15,5 = 4,5 \text{ lít.}$$

Nếu vách ngăn bị thủng thì trong bình có hỗn hợp nito và hơi nước bão hoà:

$$P_A = P_B = 10^5 + 77490 = 177490 \text{ Pa} = 177500 \text{ Pa}.$$

3.17. Trong bình đầy hơi nước bão hòa. Khi hạ pittông một khoảng H thì thể tích hơi phải ngưng tụ thêm là:

$$V = \frac{\pi d_1^2}{4H}$$

Khối lượng nước do thể tích hơi nói trên đã ngưng tụ lại bằng:

$$m = D \frac{\pi d_2^2}{4H}, \text{ với } D = 10^3 \text{ kg/m}^3$$

Áp suất hơi nước bão hoà ở $t = 20^\circ\text{C}$ ($T = 20 + 273 = 293 \text{ K}$) có thể tính gần đúng bằng phương trình trạng thái của khí lí tưởng:

$$p = \frac{m}{\mu} \frac{RT}{V} = \frac{RT}{\mu} \cdot D \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 = 2,16 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$$

3.18. 200 g hơi nước từ $t_1 = 150^\circ\text{C}$ xuống 100°C tỏa ra một lượng nhiệt bằng: $0,2 (t_1 - 100) c_2 = 19,7 \text{ kJ}$, sau đó lại ngưng tụ thành nước và tỏa ra một lượng nhiệt bằng: $0,2 \cdot L = 452 \text{ kJ}$; rồi sau đó nó lại từ 100°C giảm xuống $t^\circ\text{C}$ và tỏa ra $0,2 (100 - t) \cdot c_1 = (83,8 - 0,838 t) (\text{kJ})$

Như vậy nhiệt lượng tổng cộng đã tỏa ra là:

$$19,7 + 452 + (83,8 - 0,838 t) = (555,5 - 0,838 t) (\text{kJ}).$$

Ta tính tổng nhiệt lượng thu vào. 0,5 kg nước đá tan thành nước ở 0°C thu vào $0,5 \cdot r = 165 (\text{kJ})$. Lượng nước này cùng với 2 lít nước (tương ứng với 2 kg nước) sẵn có thành 2,5 kg nước; 2,5 kg nước ở 0°C nóng lên đến $t^\circ\text{C}$ thu một nhiệt lượng bằng: $2,5 c_1 t = 10,475 t (\text{kJ})$. Bình chứa cũng tăng nhiệt độ từ 0°C lên $t^\circ\text{C}$, nó thu nhiệt lượng bằng $ct = 0,63 t (\text{kJ})$. Tổng cộng nhiệt lượng thu vào là:

$$165 + 10,475 t + 0,63 t \approx 165 + 11,1 t (\text{kJ})$$

Phương trình cân bằng nhiệt:

$$555,5 - 0,838 t = 165 + 11,1 t$$

cho ta $t \approx 33^\circ\text{C}$. Như vậy trong bình có 2,7 kg nước ($2,5 + 0,2$) ở nhiệt độ 33°C .

3.19. Khi sôi ở mặt phân cách hai chất lỏng (ở đây là nước và CCl_4) thì trong các bọt có chứa cả hơi nước và hơi CCl_4 và tổng áp suất riêng phần của chúng bằng áp suất ngoài (áp suất khí quyển): $P_o = P_1 + P_2$, với

$$P_o = 760 \text{ mmHg}, \quad P_1 = 192 \text{ mmHg}. \text{ Từ đó}$$

$P_2 = P_o - P_1 = 568 \text{ mmHg}$, đó chính là áp suất hơi bão hoà của CCl_4 ở $65,5^\circ\text{C}$. Tỉ số khối lượng hơi nước và hơi CCl_4 (m_1/m_2) có trong bọt, có thể tính được nhờ phương trình trạng thái:

$$m_1 = \frac{P_1 \mu_1 V}{RT} \quad \text{và} \quad m_2 = \frac{P_2 \mu_2 V}{RT}$$

(V và T là thể tích và nhiệt độ của bọt); từ đó

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{P_1 \mu_1}{P_2 \mu_2} = \frac{192 \cdot 18}{568 \cdot 154} \approx \frac{1}{25}$$

Như vậy khi sôi ở mặt phân cách lượng CCl_4 bay hơi lớn gấp 25 lần lượng hơi nước.

3.20. Ống nhỏ chứa khí đặt ở đáy cốc đóng vai trò các tâm sôi, khi thoát ra khỏi ống tạo thành những bọt khí ban đầu. Ta biết rằng muốn cho khối lỏng sôi ta phải có (xem đoạn "Kiến thức bổ sung"):

$$P_{bh} = P_o + Dgh + \frac{4\sigma}{d} \quad (1)$$

Từ đó suy ra

$$\Delta P = P_{bh} - P_o = Dgh + \frac{4\sigma}{d}$$

Thay số ta được $\Delta P \approx 16 \text{ mmHg}$. Vậy nhiệt độ t của nước ở đáy cốc khi nước sôi là: $t = 100^\circ\text{C} + \frac{16}{27} \cdot 1^\circ\text{C} \approx 100,6^\circ\text{C}$.

ĐIỆN HỌC

§4. TÍNH ĐIỆN HỌC

I. KIẾN THỨC CẦN NHỚ

A. KIẾN THỨC CƠ BẢN

1. Có hai loại điện tích: *điện tích dương và điện tích âm*. Điện tích ở thanh thuỷ tinh đã cọ xát với lụa được quy ước gọi là điện tích dương. Điện tích ở thanh êbonít đã cọ xát với lông thú được quy ước gọi là điện tích âm. Đơn vị của điện tích là culông, kí hiệu C. Các điện tích dương được đo bằng số dương, còn các điện tích âm được đo bằng số âm. Các điện tích tương tác với nhau: các điện tích cùng dấu (cùng loại) thì đẩy nhau; các điện tích khác dấu (khác loại) thì hút nhau.

2. Có ba cách làm nhiễm điện một vật. Trong *sự nhiễm điện do cọ xát*, trên hai vật có xuất hiện các điện tích khác loại nhau. Trong *sự nhiễm điện do tiếp xúc*, điện tích của vật cùng dấu với điện tích của vật đã nhiễm điện. Trong *sự nhiễm điện do hưởng ứng*, khi đặt vật dẫn A ở gần vật đã nhiễm điện B, đầu của A ở gần B mang điện tích trái dấu với điện tích của vật B, còn điện tích ở đầu kia của A cùng dấu với điện tích của B (Hình 4.1a)



Hình 4.1a

3. Vật chất được cấu tạo từ những hạt rất nhỏ không chia cắt được gọi là *hạt sơ cấp*. Điện tích của các hạt sơ cấp có giá trị nhỏ nhất và xác định, gọi là điện tích nguyên tố, có độ lớn là $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ culông. Electron là hạt có điện tích nguyên tố âm, bằng $-e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ C và có khối lượng $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg.

Bình thường nguyên tử trung hoà về điện: tổng điện tích của các electron chuyển động xung quanh hạt nhân có số trị bằng điện tích dương của hạt nhân. Nếu bị mất bớt một hay nhiều electron nguyên tử trở thành ion dương; còn nếu nhận thêm electron thì nguyên tử trở thành ion âm.

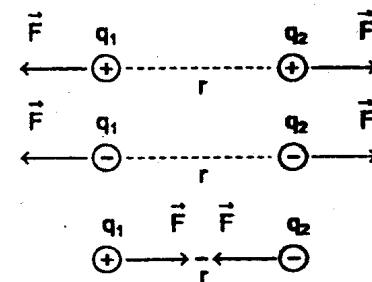
4. Trong một hệ cô lập về điện (không trao đổi điện tích với vật bên ngoài) tổng đại số các điện tích của hệ luôn luôn giữ không thay đổi (được bảo toàn):

$$q_1 + q_2 + \dots = \text{const} \quad (\text{Định luật bảo toàn điện tích}).$$

5. *Định luật Culông*: Lực tương tác giữa hai điện tích điểm đứng yên trong chân không tỉ lệ với tích độ lớn các điện tích và tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa chúng và phụ thuộc vào môi trường. Lực tương tác có phương trùng với đường thẳng nối hai điện tích, có chiều của lực đẩy nếu hai điện tích cùng dấu, chiều của lực hút nếu hai điện tích trái dấu (Hình 4.1)

$$F = k \frac{|q_1 q_2|}{\epsilon r^2}$$

ϵ là hằng số điện môi của môi trường (với chân không $\epsilon = 1$). Trong hệ đơn vị SI: r đo bằng mét, F đo bằng niutơn (N), q đo bằng culông (C).



Hình 4.1

$$k = 9 \cdot 10^9 \left(\text{N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2} \right); \quad \text{Nhu vậy } F = 9 \cdot 10^9 \frac{|q_1 q_2|}{\epsilon r^2}$$

Công thức này áp dụng cho cả trường hợp hai quả cầu nhỏ mang điện, khi đó r là khoảng cách hai tâm quả cầu. Cần chú ý là công thức trên chỉ áp dụng được một cách chính xác cho trường hợp điện môi đồng chất chiếm đầy không gian xung quanh các điện tích.

Khi thay các giá trị bằng số trong công thức cần lưu ý:

- Chỉ lấy giá trị tuyệt đối của điện tích.
- Các dữ liệu cho trong đề bài phải chuyển đổi tính theo đơn vị hệ SI (đặc biệt lưu ý đến r).

Nếu điện tích (vật mang điện) chịu tác dụng của nhiều lực $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots$ từ phía các điện tích khác thì hợp lực tác dụng lên điện tích đó được xác định theo quy tắc hợp lực (cộng véc tơ): $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots$

Ngoài lực điện, vật mang điện (quả cầu mang điện chẳng hạn) còn có thể chịu tác dụng của những lực khác:

- Trọng lực $P = mg$
- Lực căng của sợi dây T;
- Lực đẩy Acsimet $F_A = VDg$ (với V là thể tích chất lỏng bị vật chiếm chỗ; D là khối lượng riêng của chất lỏng; g là gia tốc trọng trường); lực $\vec{F}_A$ hướng thẳng đứng lên trên.

Vật mang điện đứng cân bằng khi hợp lực tác dụng lên nó bằng không.

6. Xung quanh vật mang điện (điện tích) có một điện trường; điện trường này tác dụng lực điện lên các điện tích đặt trong nó.

a) Cường độ điện trường tại một điểm được đo bằng thương số của lực điện trường tác dụng lên một điện tích thử đặt tại điểm đó và độ lớn của điện tích thử đó: $E = \frac{F}{q}$

(Điện tích thử là một vật có kích thước rất nhỏ, mang điện tích dương). Đơn vị cường độ điện trường: vôn trên mét (V/m).

b) Cường độ điện trường $\vec{E}$, gây ra bởi một điện tích Q tại một điểm cách nó một khoảng r, trong môi trường có hằng số điện môi ϵ , là một véc tơ: đặt tại điểm đó: có độ lớn

$$E = 9 \cdot 10^9 \frac{|Q|}{\epsilon r^2}$$

có phương là đường thẳng nối điện tích và điểm đó, và có chiều hướng ra xa Q nếu Q > 0 và hướng về Q nếu Q < 0.



Hình 4.2

c) Cường độ điện trường tổng hợp $\vec{E}$ do nhiều điện tích gây ra tại một điểm bằng tổng các véc tơ cường độ điện trường do từng điện tích riêng biệt gây ra: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots$

d) Lực tác dụng lên điện tích đặt trong điện trường $\vec{E}$: $\vec{F} = q \vec{E}$

e) Đường sức của điện trường là đường mà tiếp tuyến với nó tại mỗi điểm trùng với phương của véc tơ cường độ điện trường tại điểm đó; chiều của đường sức là chiều của véc tơ cường độ điện trường tại điểm đó. Điện trường đều là điện trường mà véc tơ $\vec{E}$ có cùng một độ lớn và hướng tại mọi điểm; đường sức của điện trường đều là những đường thẳng song song cách đều nhau.

7. Công của lực điện trường làm di chuyển một điện tích q từ điểm B đến điểm C trong điện trường: $A = q(V_B - V_C) = qU_{BC}$, trong đó V_B và V_C là điện thế của điện trường tại các điểm B và C; U_{BC} là hiệu điện thế giữa hai điểm B và C. Đơn vị của điện thế và hiệu điện thế là vôn (V). (Lưu ý: đơn vị của A là jun). Nếu điện trường đều thì $A = qEd$, trong đó d là hình chiếu của đường đi trên đường sức.

Trong điện trường đều (chẳng hạn điện trường trong khoảng giữa hai bản kim loại phẳng tích điện đều, trái dấu, có độ lớn điện tích bằng nhau đặt song song với nhau, đường sức là các đường thẳng song song đi từ bản dương đến bản âm), cường độ điện trường E liên hệ với hiệu điện thế U bằng hệ thức $E = \frac{U}{d}$ với d là khoảng cách giữa hai điểm có hiệu điện thế V tính dọc theo đường sức, d tính ra mét (m).

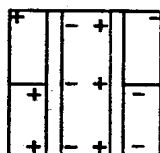
8. **Vật dẫn** có những hạt mang điện chuyển động tự do, gọi tắt là điện tích tự do; Ở vật dẫn kim loại, đó là các electron tự do. Vật cách điện (điện môi) không có điện tích tự do.

a) Trong điện trường, ở trạng thái cân bằng điện, vật dẫn có những tính chất sau: cường độ điện trường bên trong vật dẫn bằng không; vectơ cường độ điện trường ở ngoài vật dẫn vuông góc với mặt ngoài vật dẫn; vật dẫn là vật đẳng thế (mọi điểm của vật có cùng một điện thế); điện tích phân bố ở mặt ngoài vật dẫn, tập trung nhiều ở chỗ lồi, ít ở chỗ lõm, do đó cường độ điện trường mạnh ở chỗ lồi, yếu ở chỗ lõm.

b) Trong điện trường, vật cách điện (điện môi) bị phân cực: ở hai mặt điện môi vuông góc với phương cường độ điện trường xuất hiện những điện tích liên kết (còn gọi là **điện tích phân cực**) trái dấu: điện tích dương ở chỗ đường sức ra khỏi mặt điện môi, điện tích âm ở chỗ đường sức đi vào điện môi.

9. **Tụ điện** là một hệ thống gồm hai vật dẫn (gọi là **bản tụ điện**) đặt gần nhau và cách điện đối với nhau.

a) Khi tụ điện được tích điện, điện tích của hai bản bằng nhau và trái dấu. **Điện tích Q của tụ điện** là độ lớn của điện tích trên bản dương.



Hình 4.3

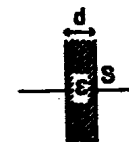
b) Điện dung của tụ điện: $C = \frac{Q}{U}$, suy ra $Q = CU$

(Q là điện tích của tụ điện; U là hiệu điện thế giữa hai bản tụ điện). Đơn vị của C là fara, ký hiệu F. Các ước thường dùng của fara: 1 microfara ($1 \mu F$) = 10^{-6} F; 1 picofara (pF) = 10^{-12} F.

c) Điện dung của tụ điện phẳng :

$$C = \frac{\epsilon S}{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \pi d} \text{ trong đó } S \text{ là diện tích}$$

của một bản (phần đối diện với bản kia), tính ra m^2 ; d là khoảng cách hai bản, tính ra m; ϵ là hằng số điện môi của lớp điện môi lấp đầy khoảng không gian giữa hai bản.

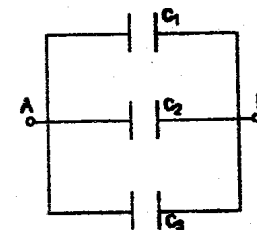


Hình 4.4

Điện trường ở giữa hai bản của tụ điện phẳng là điện trường đều : $E = \frac{U}{d}$

d) Có hai cách ghép tụ điện thành bộ tụ (điện): ghép song song và ghép nối tiếp.

Khi ghép song song, các tụ điện được mắc vào cùng một hiệu điện thế U (Hình 4.5). Hiệu điện thế U_b , điện tích Q_b và điện dung C_b của bộ tụ liên hệ với các đại lượng tương ứng của các tụ trong bộ theo hệ thứ



Hình 4.5

$$U_b = U_1 = U_2 = \dots = U_n;$$

$$Q_b = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n;$$

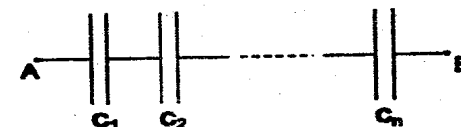
$$C_b = C_1 + C_2 + \dots + C_n;$$

Khi ghép nối tiếp (xem hình 4.6) nếu trước khi ghép các tụ điện chưa tích điện, ta có hệ thức:

$$U_b = U_1 + U_2 + \dots + U_n;$$

$$Q_b = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n;$$

$$\frac{1}{C_b} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_n} + (C_b < C_1, C_2, \dots C_n)$$



Hình 4.6

Trường hợp có 2 tụ ghép nối tiếp : $C_b = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$

e) Năng lượng của tụ điện khi đã tích điện bằng :

$$W = \frac{1}{2}QU = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

B. KIẾN THỨC BỔ SUNG

1. Điện thông

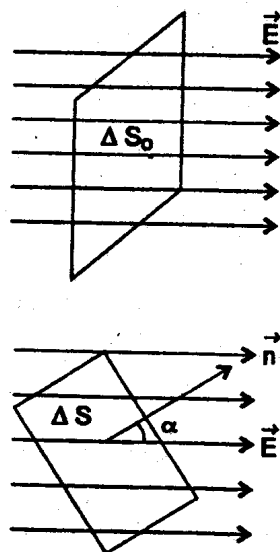
a) Để có thể sử dụng các đường sức điện trường biểu diễn cả độ lớn của cường độ điện trường người ta quy ước: vẽ số đường sức điện trường qua một đơn vị diện tích đặt vuông góc với đường sức bằng cường độ điện trường E (tại nơi đặt điện tích): $\frac{\Delta N}{\Delta S_0} = E$ với ΔN là số đường sức qua điện tích ΔS_0

b) Điện thông qua mặt ΔS là đại lượng:

$$N = E \Delta S \cos \alpha \quad (1), \text{ với } \alpha \text{ là góc}$$

giữa pháp tuyến $\vec{n}$ với mặt ΔS và vectơ cường độ điện trường $\vec{E}$. N có ý nghĩa là số đường sức đi qua ΔS .

Muốn xác định điện thông qua một mặt bất kì S , ta chia mặt đó ra các phần nhỏ ΔS sao cho trong mỗi phần đó điện trường có thể coi như đều, và tính điện thông ΔN theo công thức (1); điện thông N qua mặt S được tính bằng tổng đại số điện thông qua tất cả các phần ΔS của mặt S : $N = \sum \Delta N = \sum E \cdot \Delta S \cos \alpha \quad (2)$.



Hình 4.7

2. Định lý ôstrôgratski – Gaoxơ

“Điện thông qua một mặt kín bằng tổng đại số các điện tích chứa bên trong mặt kín ấy chia cho ϵ_0 :

$$N = \frac{1}{\epsilon_0} (q_1 + q_2 \dots) = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_i q_i = 4\pi k \sum_i q_i \quad (3)$$

trong đó $\sum_i$ là phép lấy tổng đại số các điện tích chứa trong mặt kín :

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} = 8,86 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2 \text{ gọi là hằng số điện}$$

3. Cường độ điện trường do vật tích điện (hoặc hệ điện tích điểm) gây ra

Thường chỉ xét những vật có hình dạng đặc biệt (có hình dạng có tính đối xứng chẳng hạn). Có 2 cách xác định cường độ điện trường.

Cách 1. Chia vật thành các phần tử nhỏ, mỗi phần tử coi như một điện tích điểm: xác định các cường độ điện trường $\Delta \vec{E}_i$; do từng phần tử đó gây ra tại điểm ta xét: từ đó suy ra điện trường tổng hợp do vật gây ra: $\vec{E} = \sum_i \Delta \vec{E}_i$. Dựa vào

tính đối xứng có thể xác định được hướng và độ lớn của $\vec{E}$.

Cách 2. Áp dụng định lý Ôstrôgratski – Gaoxơ; chọn mặt kín S bao quanh vật (hoặc hệ điện tích) căn cứ vào tính đối xứng của vật (mặt cầu, mặt trụ ...) sao cho việc tính điện thông được thuận lợi; chia mặt S thành các phần nhỏ và tính điện thông ΔN_i qua từng phần nhỏ đó theo công thức (1) ở trên : từ đó suy ra

$$N = \sum_i \Delta N_i \text{ và áp dụng định lí } N = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_i q_i$$

4. Điện thế

a) Công của lực điện trường khi di chuyển một điện tích dọc theo một đường cong khép kín (điểm đầu và điểm cuối trùng nhau) là bằng không : *lực điện trường là lực thế (giống như lực hấp dẫn)*

b) Thế năng của điện tích q đặt trong điện trường tại điểm có điện thế V bằng

$$W_t = qV$$

c) Điện thế của điện trường gây ra bởi một điện tích điểm Q , tại điểm cách điện tích Q một khoảng r : $V = \frac{kQ}{\epsilon r}$

(Với quy ước điện thế tại vô cực bằng không $V_\infty = 0$). Điện thế có giá trị dương hoặc âm tùy thuộc vào dấu của Q . Công thức trên cũng áp dụng được để tính điện thế tại điểm bên ngoài một quả cầu tích điện đều (Khi đó r là khoảng cách từ tâm quả cầu).

d) Nếu các điện tích $Q_1, Q_2 \dots$ gây ra tại điểm M các điện thế $V_1, V_2 \dots$ thì điện thế tổng cộng gây ra bởi hệ điện tích bằng tổng đại số các điện thế:

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n = \sum_{i=1}^n V_i$$

e) **Mặt đẳng thế** là quỹ tích những điểm có cùng một điện thế trong điện trường. Khi điện tích di chuyển trên mặt đẳng thế công của lực điện trường bằng không. Trong điện trường đều mặt đẳng thế là những mặt phẳng vuông góc với đường sức điện trường. Mặt đẳng thế của điện tích điểm là những mặt cầu đồng tâm.

Nói chung vectơ cường độ điện trường vuông góc với mặt đẳng thế và hướng từ nơi có điện thế cao đến nơi có điện thế thấp: $E = \frac{\Delta V}{\Delta n}$

($\vec{n}$ là vectơ pháp tuyến với mặt đẳng thế, hướng về phía điện thế giảm)

g) Để xác định điện thế V gây ra bởi một vật tích điện, ta chia vật thành những phần rất nhỏ, tính điện thế ΔV_i do mỗi phần nhỏ gây ra tại điểm ta xét, từ đó suy ra điện thế V : $V = \sum_i \Delta V_i$

5. **Vật dẫn là vật đẳng thế.** a) Mỗi vật dẫn có một điện thế xác định. Khi nối hai vật dẫn bằng một dây dẫn, điện tích dương dịch chuyển từ vật có điện thế cao sang vật có điện thế thấp (còn electron thì dịch chuyển theo chiều ngược lại)

b) Điện dung của một vật dẫn cô lập : $C = \frac{Q}{V}$

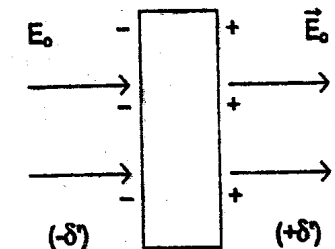
với Q là điện tích của vật dẫn (chỉ phân bố trên mặt vật dẫn)

6. Điện môi trong điện trường.

a) **Điện tích liên kết (điện tích phân cực)** xuất hiện trên mặt tấm điện môi đặt trong điện trường $\vec{E}_0$ với mật độ mặt δ' (điện tích trên một đơn vị diện tích của mặt) có độ lớn :

$$\delta' = \frac{\epsilon_0 (\epsilon - 1)}{\epsilon} E_0 = \epsilon_0 (\epsilon - 1) E$$

(với ϵ là hằng số điện môi; E là cường độ điện trường bên trong điện môi). Tại mặt điện môi, nơi các đường sức của điện trường $\vec{E}_0$ đi vào tấm điện môi sẽ xuất hiện điện tích âm. (Hình 4.9), còn ở mặt kia sẽ xuất hiện điện tích dương.



Hình 4.9

Các điện tích liên kết gây ra trong điện môi một điện trường phụ $\vec{E}$ ngược chiều với $\vec{E}_0$

b) Cường độ điện trường $\vec{E}$ bên trong điện môi ($\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}$)

$$E = \frac{E_0}{\epsilon}$$

Như vậy cường độ điện trường bên trong điện môi nhỏ hơn cường độ điện trường trong chân không ϵ lần.

II - BÀI TẬP THÍ DỤ

1. Thí dụ 1. Có 4 điện tích :

$$q_1 = q_0 (q_0 > 0); \quad q_2 = q_3 = -q_0; \quad q_4 = \frac{q_0}{2}$$

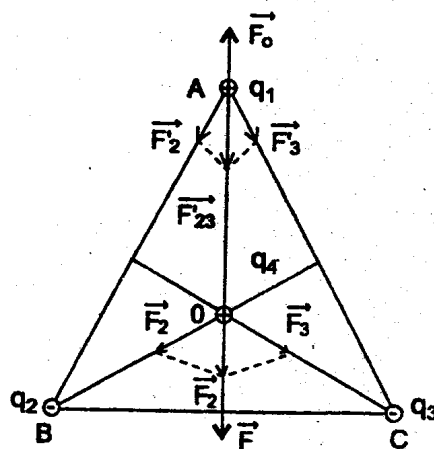
Ba điện tích q_1, q_2, q_3 đặt tại 3 đỉnh của tam giác đều ABC cạnh a trong không khí, còn điện tích q_4 thì đặt tại tâm O của tam giác. Hãy xác định lực điện tổng hợp tác dụng các điện tích q_1 và q_4 . Áp dụng số: $q_0 = 4 \cdot 10^{-8} \text{C}$; $a = 4 \text{cm}$

A. Giải.

a) Lực điện tổng hợp tác dụng lên q_4 đặt tại O:

Gọi $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$ là các lực điện do các điện tích q_1, q_2, q_3 tác dụng lên q_4 . Vì O là tâm của tam giác đều ABC nên

$$\begin{aligned} OA = OB = OC &= r \\ &= \frac{2}{3} \cdot \frac{a\sqrt{3}}{2} = \frac{a\sqrt{3}}{3} \end{aligned}$$



Hình 4.10

và do đó

$$F_1 = F_2 = F_3 = \frac{kq_1q_4}{r^2} = \frac{3kq_0^2}{2a^2} \quad (\text{trong không khí } \epsilon = 1)$$

Lực điện tổng hợp tác dụng lên q_4 : $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$

Xét hợp lực $\vec{F}_{23} = \vec{F}_2 + \vec{F}_3$. Vì $F_2 = F_3$ và hai véc tơ $\vec{F}_2, \vec{F}_3$ hợp với nhau một góc bằng 120° , nên $\vec{F}_{23}$ nằm trên đường

phân giác của góc BOC (tức là cùng hướng với $\vec{F}_1$) và tam giác tạo bởi $\vec{F}_2$ và $\vec{F}_{23}$ là tam giác đều; suy ra $F_{23} = F_2$. Vì $\vec{F}_{23}$ và $\vec{F}_1$ cùng hướng nên véc tơ $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_{23}$ có độ lớn $F = F_1 + F_{23} = 2F_1 = 3k \frac{q_0^2}{a^2}$. Vậy lực điện tổng hợp tác dụng lên q_4 có phương vuông góc với BC, có chiều hướng đến BC và có độ lớn $F = 3k \frac{q_0^2}{a^2}$

Thay số: $k = 9 \cdot 10^9 \text{ đvSI}$; $q_0 = 4 \cdot 10^{-8} \text{C}$; $a = 4 \text{cm} = 4 \cdot 10^{-2} \text{m}$, ta được $F = 0,027 \text{N}$

b) Lực điện tổng hợp tác dụng lên q_1 đặt tại A:

Gọi $\vec{F}_2', \vec{F}_3'$ và $\vec{F}_0$ là lực điện do q_2, q_3 và q_4 tác dụng lên q_1 ; lực điện tổng hợp tác dụng lên q_1 bằng:

$$\vec{F} = \vec{F}_2' + \vec{F}_3' + \vec{F}_0$$

Xét lực $\vec{F}_{23}' = \vec{F}_2' + \vec{F}_3'$

$$\text{Ta có} \quad F_2' = F_3' = k = \frac{|q_1q_2|}{a^2} = k \frac{q_0^2}{a^2}$$

Vì $F'_2 = F'_3$ nên $\vec{F}_{23}$, có phương A_{O2} chiều từ A đến O và có độ lớn :

$$F_{23} = 2F'_2 \cos 30^\circ = F'_2 \sqrt{3} = k \frac{q_0^2}{a^2} \sqrt{3}$$

Vì $\vec{F}_0$ và $\vec{F}_{23}$ cùng phương và ngược chiều nên $F = |F_0 - F_{23}|$

Ta có
$$F_0 = k \frac{|q_0 q_1|}{OA^2} = k \frac{q_0^2}{2r^2} = \frac{3kq_0^2}{2a^2}$$

Ta thấy $F_0 > F_{23}$. Vậy lực điện tổng hợp có phương OA, có chiều hướng về O và có độ lớn:

$$F = F_{23} - F_0 = \left(\sqrt{3} - \frac{3}{2}\right) k \frac{q_0^2}{a^2}$$

Thay số ta được : $F \approx 0,0021 \text{ N}$

B. Chú ý : Đây là loại bài toán xác định lực điện tổng hợp tác dụng lên điện tích. Nếu một vật có điện tích q chịu tác dụng của nhiều lực điện $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots$ do các điện tích khác $q_1, q_2 \dots$ gây ra thì lực điện tổng hợp tác dụng lên q được xác định bởi $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots$

Trong đó các lực $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots$ được xác định bằng cách áp dụng định luật Cu lông.

a) Trước hết cần xác định đúng các lực $\vec{F}_1, \vec{F}_2 \dots$ (phương, chiều, cường độ $F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$ trong đó cần đặc biệt lưu ý đến hướng của các lực đó).

b) Để xác định $\vec{F}$, cần áp dụng quy tắc cộng véc tơ và cần tiến hành cộng lần lượt từng hai véc tơ một (như đã làm ở thí

dụ trên): Tìm $\vec{F}_{12} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$, rồi tìm $\vec{F}_{123} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_3 \dots$ hoặc cũng có thể tìm $\vec{F}_{12} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$, rồi tìm $\vec{F}_{34} = \vec{F}_3 + \vec{F}_4$, sau đó tìm $\vec{F}_{1234} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{34} \dots$ (thường tiến hành theo cách đầu).

Một cách tổng quát, nếu $\vec{F}_1$ và $\vec{F}_2$ hợp với nhau một góc α thì áp dụng hệ thức lượng giác trong tam giác ta có :

$$F_{12}^2 = F_1^2 + F_2^2 - 2F_1 F_2 \cos(\pi - \alpha) = F_1^2 + F_2^2 + 2F_1 F_2 \cos \alpha$$

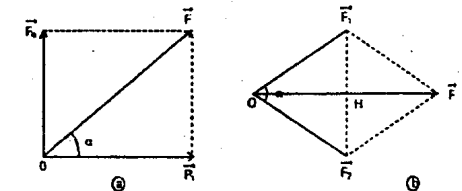
c) Cũng thường xảy ra một số trường hợp đặc biệt:

+ Nếu $\vec{F}_1$ và $\vec{F}_2$ cùng phương, ta có $F = F_1 + F_2$ ($\vec{F}_1$ và $\vec{F}_2$ cùng chiều). Hoặc $F = |F_1 - F_2|$ ($\vec{F}_1$ và $\vec{F}_2$ ngược chiều, khi đó $\vec{F}$ cũng cùng phương với $\vec{F}_1$ và $\vec{F}_2$);

+ Nếu $\vec{F}_1$ vuông góc với $\vec{F}_2$, ta có $F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$

và phương của $\vec{F}$ hợp với $\vec{F}_1$ một góc α mà

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_2}{F_1} \text{ (Hình 4.11a);}$$



Hình 4.11

+ Nếu $\vec{F}_1$ và $\vec{F}_2$ có cùng độ lớn ($F_1 = F_2$) và hợp với nhau góc α thì $F = 2.OH = 2F_1 \cos \frac{\alpha}{2}$, và $\vec{F}$ có phương là đường phân giác của góc α (Hình 4.11b)

d) Ngoài phương pháp đã nêu trên, còn có thể dùng

phương pháp hình chiếu: Chọn hệ trục vuông góc Oxy (một cách thích hợp, để dễ tìm hình chiếu các lực) và chiếu các véc tơ lên các trục toạ độ. Khi đó ta có:

$$F_x = F_{1x} + F_{2x} + \dots, F_y = F_{1y} + F_{2y} + \dots$$

và $F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$, và phương của $\vec{F}$ được xác định bởi góc α mà $\tan \alpha = \frac{F_y}{F_x}$. Trên thực tế, dùng phương pháp đầu tiên để thuận tiện hơn.

e) Cần đặc biệt chú ý đến các đơn vị đo khi tính toán bằng số và phải đổi đơn vị đo ra mét. Và thường có tình huống $F_1 = F_2$.

f) Thường xét trường hợp điện tích đặt trong chân không hoặc trong không khí (có $\epsilon \approx 1$), nếu đề bài không đề cập đến ϵ thì chọn $\epsilon = 1$.

c) Bài tập tương tự: 4.1; 4.2 (mục III: Bài tập luyện tập)

2. Thí dụ 2.

Cho hai điện tích điểm $q_1 = q_0$ và $q_2 = -4q_0$ đặt tại hai điểm A và B trong không khí, cách nhau $AB = a$.

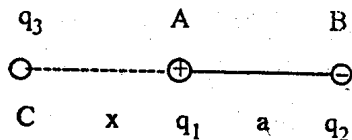
a) Giả sử q_1 và q_2 được giữ cố định tại A và B. Hỏi phải đặt điện tích q_3 ở đâu để nó nằm cân bằng?

b) Bây giờ q_1 và q_2 không được giữ cố định. Hãy tìm vị trí, dấu và độ lớn của q_3 để hệ ba điện tích q_1, q_2, q_3 nằm cân bằng.

Áp dụng số: $q_0 = 10^{-7} \text{ C}$;
 $a = 16 \text{ cm}$

A. Giải.

a) Gọi $\vec{F}_{13}$ và $\vec{F}_{23}$ là các lực điện do các điện tích q_1 và q_2 tác dụng lên điện tích q_3 .



Hình 4.12

Điều kiện để điện tích q_3 nằm cân bằng là:

$\vec{F}_{13} + \vec{F}_{23} = 0$ (1) nghĩa là $\vec{F}_{13}$ và $\vec{F}_{23}$ phải là hai lực trực đối. Muốn vậy, điện tích q_3 phải nằm trên đường thẳng đi qua A và B, hơn nữa q_3 phải đặt tại điểm C ở bên ngoài đoạn thẳng AB (để cho lực hút của một điện tích đối với q_3 có thể cân bằng với lực đẩy của điện tích kia, tùy thuộc vào dấu của q_3). Vì $q_1 < q_2$ cho nên, để cho $F_{13} = F_{23}$, thì điện tích q_3 phải nằm gần A hơn (như trên hình 4.12). Vị trí của điểm C được xác định từ điều kiện $F_{13} = F_{23}$ (2). Đặt $CA = x$, theo định luật Culông ta có:

$$F_{13} = k \frac{|q_1 q_3|}{x^2} = k \frac{q_1 |q_3|}{x^2}; F_{23} = k \frac{|q_2 q_3|}{(a+x)^2} = k \frac{|q_2| |q_3|}{(a+x)^2}$$

(ta xét độ lớn của điện tích q_3 , tức là $|q_3|$ bởi vì q_3 có thể là điện tích âm). Thay vào (2) ta được.

$$k \frac{q_1 |q_3|}{x^2} = k \frac{|q_2| |q_3|}{(a+x)^2} \quad (3)$$

Ta nhận xét rằng hệ thức (3) được thỏa mãn với mọi dấu và độ lớn của q_3 . Thay $q_1 = q_0$; $q_2 = -4q_0$, từ (3) ta suy ra

$$4x^2 = (a+x)^2. \text{ Từ đó } x = a = 16 \text{ cm}$$

Vậy muốn cho điện tích q_3 nằm cân bằng, phải đặt nó tại C, trên đường thẳng AB, ở ngoài đoạn AB, ở gần A và cách A một đoạn $CA = 16 \text{ cm}$ (còn độ lớn và dấu của q_3 thì tùy ý!).

Ghi chú: Nếu giả thiết C ở gần B, cách B một đoạn x thì ta sẽ thu được kết quả là $x < 0$ nghĩa là C phải ở vị trí như vừa tìm ở trên.

b) Bây giờ muốn cho hệ ba điện tích nằm cân bằng, thì ngoài điều kiện để q_3 nằm cân bằng đã xét ở trên ($\vec{F}_{13} + \vec{F}_{23} = 0$) (1) cần phải xét điều kiện cân bằng của q_1 và của q_2 :

$$\vec{F}_{21} + \vec{F}_{31} = 0 \quad (4) \quad \text{và} \quad \vec{F}_{12} + \vec{F}_{32} = 0 \quad (5)$$

Trước hết ta nhận xét rằng, theo định luật III Niu tơn

($\vec{F}_{13} = -\vec{F}_{31}$; $\vec{F}_{23} = -\vec{F}_{32}$; $\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$), từ (1) và (4) ta thu được (5). Điều đó có nghĩa là: muốn cho hệ ba điện tích nằm cân bằng, ta chỉ cần xét thêm điều kiện cân bằng của q_1 (hoặc q_2). Theo điều kiện đó F_{21} và F_{31} phải là hai lực trực đối, nghĩa là q_3 phải là điện tích âm, hơn nữa ta phải có $\vec{F}_{21} = \vec{F}_{31}$ (6). Theo định luật Culông.

$$F_{21} = k \frac{|q_1 q_2|}{a^2} = k \frac{q_1 |q_2|}{a^2}; F_{31} = k \frac{|q_3 q_1|}{x^2} = k \frac{q_1 |q_3|}{x^2};$$

$$\text{thay vào (6) ta được } k \frac{q_1 |q_2|}{a^2} = k \frac{q_1 |q_3|}{x^2};$$

Từ đó $|q_3| = |q_2| \frac{x^2}{a^2}$. Ta biết (câu a) $x = a$. Vậy ta có

$$|q_3| = |q_2|, \text{ và do đó } q_3 = q_2 = -4q_0$$

$$\text{Thay số ta được: } q_3 = -4 \cdot 10^{-7} \text{C}$$

Như vậy, muốn cho hệ ba điện tích nằm cân bằng, ta phải có $q_3 = -4 \cdot 10^{-7} \text{C}$ và điện tích q_3 phải cách A một đoạn bằng a.

B. Chú ý: Đây là loại bài toán về sự cân bằng của điện tích (hoặc hệ điện tích) chỉ do tác dụng của lực điện.

a) Để giải được loại bài toán này cần phải tìm lực điện tổng hợp tác dụng lên điện tích ta xét và cho hợp lực đó bằng không: $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots = 0$. Thường người ta tìm cách đưa hệ lực tác dụng lên điện tích về còn hai lực (bằng quy tắc cộng véc tơ), sau đó xét điều kiện để hai lực đó là hai lực trực đối (cùng giá, ngược chiều, cùng độ lớn): Trên cơ sở đó tìm ra lời giải của bài toán (xác định được vị trí, dấu và độ lớn của điện tích ta xét, hoặc một trong các điện tích tác dụng lên điện tích ta xét).

b) Muốn cho cả hệ điện tích nằm cân bằng thì cần tìm điều kiện để mọi điện tích trong hệ nằm cân bằng, thường thì với hệ N điện tích ta chỉ cần xét điều kiện cân bằng của N-1 điện tích của hệ mà thôi (như ở thí dụ trên chẳng hạn, với hệ ba điện tích ta chỉ cần xét điều kiện cân bằng của hai điện tích q_3 và q_1 mà thôi), vì điều kiện cân bằng của điện tích thứ N được suy từ điều kiện cân bằng của N-1 điện tích đó.

C. Bài tập tương tự: 4.3; 4.4 (xem III. Bài tập luyện tập)

3. Thí dụ 3.

Hai quả cầu nhỏ có cùng khối lượng m, cùng điện tích q, được treo trong không khí bằng hai sợi dây mảnh (khối lượng không đáng kể cách điện, không co dãn cùng chiều l, vào cùng một điểm treo O. Do lực đẩy tĩnh điện chúng cách nhau một khoảng r ($r \ll l$).

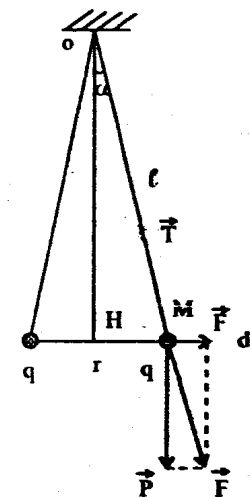
a) Tính điện tích của mỗi quả cầu

b) Nhúng hệ thống vào rượu (hằng số điện môi $\epsilon = 27$) tính khoảng cách r giữa hai quả cầu khi đó. Bỏ qua ma sát và lực đẩy Accimét.

c) Áp dụng số: $m = 1,2\text{g}$; $l = 1\text{ m}$; $r = 6\text{ cm}$. Lấy $g = 10\text{g/s}^2$ xem rằng khi góc α nhỏ $\sin \alpha \approx \tan \alpha$

A. Giải.

a) Mỗi quả cầu chịu tác dụng của ba lực: Trọng lực $\vec{P}$ ($P = mg$), lực điện $\vec{F}_d$ và lực căng $\vec{T}$ của sợi dây. Muốn cho quả cầu nằm cân bằng, ta phải có (Hình 4.13):



Hình 4.13

$$\vec{P} + \vec{F}_d + \vec{T} = 0$$

hay $\vec{P} + \vec{F}_d = -\vec{T}$, nghĩa là hợp lực của $\vec{P}$ và $\vec{F}_d$ phải trực đối với lực căng $\vec{T}$. Như vậy lực $\vec{F} = \vec{P} + \vec{F}_d$ phải cùng phương với $\vec{T}$ (với dây treo) như ở hình vẽ. Từ hình vẽ ta có:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_d}{P}$$

Theo định luật Culông $F_d = k \frac{q_2}{r^2}$, do đó

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{k \frac{q_2}{r^2}}{mg} = \frac{kq_2}{mgr^2}$$

Mặt khác, vì $r \ll l$ nên góc α là nhỏ, ta có

$$\operatorname{tg} \alpha \approx \sin \alpha = \frac{r/2}{l} = \frac{r}{2l}$$

Suy ra
$$\frac{r}{2l} = \frac{kq^2}{mgr^2} \quad (2)$$

Độ lớn của điện tích của mỗi quả cầu:

$$|q| = \sqrt{\frac{mgr^3}{2lk}} \quad (3)$$

Cần lưu ý rằng dấu của điện tích là tùy ý (hai quả cầu đều tích điện dương hoặc đều tích điện âm).

Thay số : $m = 1,2 \text{ g} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$; $g = 10 \text{ m/s}^2$;
 $r = 6 \text{ cm} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ m}$; $l = 1 \text{ m}$; $k = 9 \cdot 10^9 \text{ đvSI}$,
 ta được: $|q| = 1,2 \cdot 10^{-8} \text{ C}$.

b) Khi nhúng hệ thống vào trong rượu, lực điện sẽ bằng $F'_d = k \frac{q^2}{\epsilon r'^2} (= \frac{F_d}{\epsilon})$ và do đó góc hợp bởi dây treo với phương thẳng đứng là α' ($\alpha' \neq \alpha$).

$$\text{Lập luận tương tự như trên ta có } \operatorname{tg} \alpha' = \frac{F'_d}{P} = \frac{kq^2}{\epsilon mg^2}$$

với $\operatorname{tg} \alpha' \approx \sin \alpha' = \frac{r'}{2l}$; từ đó ta có

$$\frac{r'}{2l} = \frac{kq^2}{\epsilon mgr'^2} \text{ hay } r'^3 = \frac{2klq^2}{\epsilon mg} \quad (4)$$

$$\text{Từ (2) ta có } r^3 = \frac{2klq^2}{mg} \quad (5)$$

Từ (4) và (5) ta được

$$\frac{r'^3}{r^3} = \frac{1}{\epsilon} \text{ hay } r' = \frac{r}{\sqrt[3]{\epsilon}} \text{ hay } r' = \frac{r}{\sqrt[3]{\epsilon}}$$

(thay biểu thức của q , từ (3) và (4) cũng tìm được hệ thức này)

$$\text{Thay số ta được } r' = \frac{6}{3} = 2 \text{ cm}$$

B. Chú ý : Đây là loại bài toán về sự cân bằng của vật mang điện khi nó chịu tác dụng của những lực khác, ngoài lực điện. Như vậy có thể là: trọng lực, lực căng T của sợi dây, lực đẩy Acsimét ... (xem "Kiến thức cơ bản"). Điều kiện cân bằng vẫn là : hợp lực của tất cả các lực tác dụng lên vật mang điện (lực điện + các lực khác) phải bằng không.

a) Thuận tiện hơn cả là : bằng hình vẽ, biểu diễn tất cả các lực tác dụng lên vật mang điện: dựa vào đó tìm điều kiện cân bằng và hình dung được sự sắp xếp các lực tác dụng vào vật, từ đó xác định được hệ thức giữa các lực dựa vào hình vẽ và tìm được lời giải.

b) Thường hay gặp trường hợp vật mang điện treo vào sợi dây như ở thí dụ trên: khi đó tùy thuộc vào dữ kiện cho trong đề bài mà có thể tính được (xem hệ thức (2)) hoặc q hoặc l , hoặc r , hoặc m , hoặc góc α .

Nếu điện tích đặt trong điện trường có cường độ $\vec{E}$ (xem ở các thí dụ sau) thì cần phải kể đến lực điện trường $\vec{F} = q \vec{E}$ tác dụng lên điện tích q .

Nếu góc lệch α không nhỏ thì vận dụng điều kiện tổng quát (1) ở lời giải.

c) Bài tập tương tự: 3.5; 3.6 (Xem III Bài tập luyện tập)

4. Thí dụ 4.

Tại các đỉnh A, B, C của một hình vuông ABCD có cạnh $a = 1,5\text{cm}$ lần lượt đặt (cố định) ba điện tích q_1, q_2, q_3 .

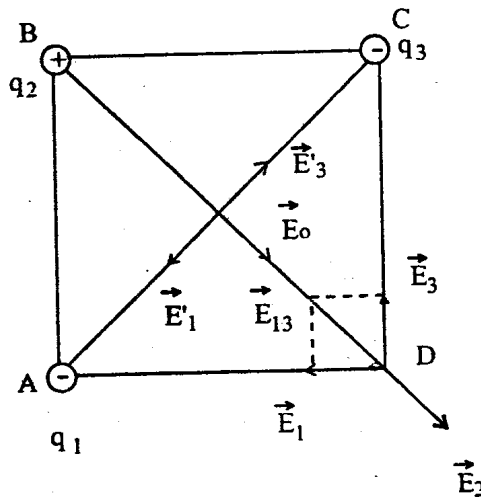
a) Tính q_1 và q_3 , biết rằng cường độ điện trường tổng hợp tại D bằng 0 và $q_2 = -4 \cdot 10^{-6}\text{C}$.

b) Xác định cường độ điện trường tại tâm O của hình vuông.

c) Đặt tại O một điện tích $q = +3 \cdot 10^{-9}\text{C}$. Xác định lực điện tác dụng lên q . Nếu đặt điện tích q đó tại D thì lực điện tác dụng lên q bằng bao nhiêu?

A. Giải.

a) Gọi véc tơ cường độ điện trường tại D gây bởi các điện tích q_1, q_2, q_3 lần lượt là $\vec{E}_1, \vec{E}_2$ và $\vec{E}_3$.



Hình 4.14

Theo đề bài ta có $\vec{E}_1 = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 = \vec{0}$, nghĩa là $\vec{E}_1 + \vec{E}_3 = -\vec{E}_2$. Vì $q_2 > 0$, véc tơ $\vec{E}_2$ hướng theo BD và ra xa B (Hình 4.14). Suy ra véc tơ $\vec{E}_{13} = \vec{E}_1 + \vec{E}_3$ phải trực đối với véc tơ $\vec{E}_2$, nghĩa là tổng các véc tơ $\vec{E}_1$ và $\vec{E}_3$ phải có phương BD, ngược chiều với $\vec{E}_2$ và có độ lớn $E_{13} = E_2$. (Xem hình 4.14) Từ đó ta suy ra rằng, các véc tơ $\vec{E}_1$ và $\vec{E}_3$ phải hướng về các điểm A và C, và phải có độ lớn:

$$F_1 = F_3 = \frac{E_{13}}{\sqrt{2}} = \frac{E_2}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

điều đó có nghĩa là các điện tích q_1 và q_3 phải là các điện tích âm, và hơn nữa, chúng phải có độ lớn bằng nhau (vì $DA = DC = a$).

Như vậy ta có $q_1 = q_3$. Mặt khác, ta lại có

$$E_2 = k \frac{q_2}{DB^2} = k \frac{q_2}{(a\sqrt{2})^2} = k \frac{q_2}{2a^2} \quad (2)$$

$$\text{và } E_1 = E_3 = k \frac{q_1}{a^2} \quad (3)$$

$$\text{Từ (1), (2), (3) ta có: } k \frac{|q_1|}{a^2} = k \frac{q_2}{2a^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\text{từ đó } q_1 = \frac{q_2}{2\sqrt{2}} = \frac{4 \cdot 10^{-6}}{2\sqrt{2}} = \sqrt{2} \cdot 10^{-6} \approx 1,4 \cdot 10^{-6}\text{C}$$

$$\text{Vậy } q_1 = q_3 = -1,4 \cdot 10^{-6}\text{C}$$

b) Cường độ điện trường tại O là:

$$\vec{E}_0 = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 \text{ với } \vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3 \text{ là các véc tơ cường độ}$$

điện trường do q_1 , q_2 và q_3 gây ra tại O. Vì $q_1 = q_3$ và $OC = OA$ nên $\vec{E}_1 = -\vec{E}_3$ hay $\vec{E}_1 + \vec{E}_3 = 0$. Do đó $E_0 = E_2$ nghĩa là véc tơ cường độ tổng hợp tại O có phương OD, chiếu ra xa B và có độ lớn.

$$E_0 = E_2 = k \frac{q_2}{OB^2} = k \frac{q_2}{\left(\frac{a\sqrt{2}}{2}\right)^2} = 2k \frac{q_2}{a^2}$$

$$E_0 = 29 \cdot 10^9 \cdot \frac{4 \cdot 10^{-6}}{(1,5 \cdot 10^{-2})^2} = 3,2 \cdot 10^8 \text{ V/m}$$

c) Lực điện tác dụng lên q là: $\vec{F} = q\vec{E}$. Lực điện tác dụng lên q đặt tại O có phương OD, có chiều hướng ra xa B và có độ lớn:

$F + qE_0 = 3 \cdot 10^{-9} \cdot 3,2 \cdot 10^8 = 0,96 \text{ N}$. Nếu đặt điện tích q tại D thì lực tác dụng lên q bằng $\vec{F} = q\vec{E}_d = 0$! Như vậy có nghĩa là điện tích q nằm cân bằng tại D.

Ghi chú: Cũng có thể tính $\vec{F}$ bằng cách xác định lực điện tổng hợp tác dụng lên q do các điện tích q_1 , q_2 , q_3 gây ra dựa theo định luật Culông: trong trường hợp đặt điện tích q tại D thì lực điện tổng hợp bằng không.

B. Chú ý: Đây là loại bài toán về cường độ điện trường do điện tích điểm gây ra và lực tác dụng lên điện tích đặt trong điện trường.

a) Nếu có nhiều điện tích gây ra điện trường thì cường độ điện trường được xác định dựa theo nguyên lý chồng chất điện trường: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots$. Cách xác định tổng các

véc tơ $\vec{E}$ được thực hiện giống phép cộng các véc tơ lực điện $\vec{F}$ đã xét ở thí dụ 1. Lực tác dụng lên điện tích đặt trong điện trường được xác định theo công thức $\vec{F} = q\vec{E}$ (chú ý đến dấu của điện tích q để xác định đúng chiều của $\vec{F}$).

Nếu điện trường $\vec{E}$ do các điện tích điểm gây ra thì lực điện $\vec{F}$ cũng chính là lực điện tổng hợp do các điện tích tác dụng lên q (và có thể xác định dựa theo công thức của định luật Cu lông).

b) Điện tích nằm cân bằng trong điện trường khi cường độ điện trường tại điểm đặt điện tích bằng không (vì $\vec{E} = 0$ thì $\vec{F} = q\vec{E} = 0$).

Nếu ngoài lực điện trường vật mang điện còn chịu tác dụng của những lực khác (trọng lực, lực căng của dây, lực đẩy Ácsimét ...) thì điều kiện cân bằng của vật là hợp lực của tất cả các lực tác dụng lên vật phải bằng không.

c) Cần lưu ý rằng khi đặt điện tích vào trong điện trường thì điện trường ban đầu sẽ bị thay đổi (tại các điểm khác ngoài điểm đặt điện tích), ở đây ta không xét sự thay đổi đó. Nhưng nếu điện tích đặt vào điện trường có độ lớn rất nhỏ (so với các điện tích gây ra điện trường) thì sự thay đổi đó là không đáng kể (giống như khi ta đặt điện tích thử vào trong một điện trường để khảo sát điện trường đó).

d) Cần đặc biệt chú ý đến các đơn vị đo khi làm các phép tính bằng số.

C. Bài tập tương tự : 4.7; 4.8 (Xem III Bài tập luyện tập)

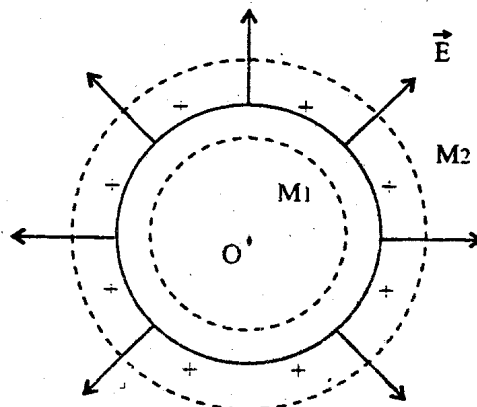
5. Thí dụ 5.

Một quả cầu dẫn điện bán kính R được tích điện q phân bố đều trên mặt quả cầu và đặt trong không khí. Hãy xác định cường độ điện trường tại điểm M cách tâm quả cầu một đoạn r . Xét các trường hợp điểm M nằm bên trong và bên ngoài quả cầu.

A. Giải :

Áp dụng định lý Ostrogradski-Gaoxo.

Do tính đối xứng, các vectơ cường độ điện trường do quả cầu gây ra có phương vuông góc với mặt cầu (nghĩa là có phương đi qua tâm O) và có giá trị như nhau tại các điểm cách tâm một khoảng như nhau (nghĩa là có giá trị như nhau tại các điểm nằm trên cùng một mặt cầu tâm O).



Hình 4.15

a) Xét điểm M_1 nằm trong mặt cầu (Hình 4.15), vẽ trường hợp $q > 0$).

Vẽ một mặt cầu S_1 tâm O bán kính r_1 đi qua M_1 . Do tính đối xứng cường độ điện trường E tại các điểm nằm trên mặt cầu này đều bằng nhau, đồng thời các vectơ $\vec{E}$ vuông góc với mặt cầu. Ta tính điện thông qua mặt cầu S_1 .

$$N_1 = \sum E \cdot \Delta S \cos \alpha = \sum E \cdot \Delta S \cos 0^\circ = E \sum \Delta S = ES_1$$

Mặt khác bên trong S_1 không có điện tích $\sum q_i = 0$

Do đó theo định lý Ostrogradski – Gaoxo:

$$N_1 = 4\pi k \sum q_i \rightarrow ES_1 = 0 \rightarrow E = 0$$

Vậy cường độ điện trường tại một điểm trong quả cầu dẫn điện là bằng không.

b) Xét điểm M_2 nằm ngoài quả cầu (Hình 4.15)

Vẽ một mặt cầu S_2 tâm O bán kính r đi qua M_2 . Lập luận tương tự như trên, điện thông qua mặt cầu S_2 là :

$$N_2 = ES_2 = E \cdot 4\pi r^2$$

Điện tích bên trong S_2 là : $\sum q_i = q$

Do đó theo định lý Ostrogradski – Gaoxo:

$$N_2 = 4\pi k \sum q_i \rightarrow E \cdot 4\pi r^2 = 4\pi k q \rightarrow E = k \frac{q}{r^2}$$

Vậy cường độ điện trường tại điểm nằm ngoài mặt cầu có phương đi qua tâm O , có chiều hướng ra xa O nếu $q > 0$ (hoặc có chiều hướng về O nếu $q < 0$), và có độ lớn $E = k \frac{q}{r^2}$

B. Chú ý : Đây là loại bài toán về cường độ điện trường gây ra bởi một vật mang điện. Phương pháp giải bài toán này đã nêu ở mục “Kiến thức bổ sung”. Ở đây dùng cách 2 là thuận lợi nhất. Về nguyên tắc có thể dùng cách 1, nhưng việc tính toán sẽ gặp nhiều khó khăn. Nói chung, khá nhiều bài toán loại này nên dùng cách 2. Chỉ có một vài trường hợp là dùng cách 1 thuận tiện hơn. Dùng cách 2 ta có thể xác định được cường độ điện trường gây ra bởi một mặt phẳng vô hạn tích điện đều, hai mặt phẳng vô hạn tích điện đều, một sợi dây dài vô hạn tích điện đều, một quả cầu điện môi tích điện đều theo thể tích ...

Chú ý rằng trong thí dụ trên, nếu $q < 0$ thì $E = k \frac{q}{r^2}$

C. Bài tập tương tự : 4.9; 4.10 (Xem III. Bài tập luyện tập)

6. Thí dụ 6.

Một quả cầu kim loại cô lập tích điện dương bán kính $R = 8 \text{ cm}$. Để di chuyển điện tích $q = 10^{-9} \text{ C}$ từ xa vô cùng đến điểm M cách mặt quả cầu $d = 10 \text{ cm}$ người ta cần thực hiện một công $A' = 10^{-6} \text{ J}$. Hãy tính điện tích của quả cầu và điện thế trên mặt cầu.

A. Giải : Khi điện tích q chuyển động từ xa vô cực về điểm M, điện tích q chịu tác dụng của lực ngoài và lực (lực cản, lực đẩy) của điện trường của quả cầu. Gọi A là công của lực điện trường khi điện tích q di chuyển, ta có:

$$A = -A' = -10^{-6} \text{ J}$$

Mặt khác ta lại có:

$$A = q(V_{\infty} - V_M) = -qV_M$$

với V_M là điện thế tại M do quả cầu sinh ra. Như vậy điện thế tại M bằng :

$$V_M = -\frac{A}{q} = -\frac{(-10^{-6})}{10^{-9}} = 1000 \text{ V}$$

Gọi Q là điện tích của quả cầu, điện thế tại M được tính bằng công thức :

$$V_M = k \frac{Q}{r}, \text{ với } r = R + d = 18 \text{ cm} = 0,18 \text{ m}$$

Từ đó suy ra điện tích của quả cầu :

$$Q = \frac{V_M \cdot r}{k} = \frac{1000 \cdot 0,18}{9 \cdot 10^9} = 2 \cdot 10^{-8} \text{ C}$$

Điện thế trên mặt quả cầu bằng :

$$V = k \frac{Q}{R} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{2 \cdot 10^{-8}}{0,08} = 2250 \text{ V}$$

B. Chú ý : Đây là loại bài toán về công của lực điện trường và điện thế của quả cầu kim loại tích điện. Cần phân biệt công A của lực điện trường khi điện tích di chuyển (đã xét trong SGK) với công của ngoại lực A' làm điện tích di chuyển trong điện trường; dĩ nhiên là $A' = -A$. Cần lưu ý rằng trong thí dụ xét ở trên vì quả cầu mang điện dương nên lực điện trường tác dụng lên điện tích di chuyển q là lực cản (lực đẩy), do đó $A < 0$ và $A' > 0$. Còn nếu quả cầu mang điện âm, thì lực điện trường lại là lực phát động, do đó $A > 0$ và $A' < 0$ (ngoại lực là lực cản). Do đó trong đề bài có thể chưa cho biết dấu của điện tích của quả cầu (coi là thông số cần xác định khi giải), khi đó cần cứ vào dữ kiện (như công thực hiện là dương hay âm) ta có thể khẳng định dấu đó.

C. Bài tập tương tự : 4.11 (Xem III. Bài tập luyện tập)

7. Thí dụ 7.

Hai quả cầu kim loại, có bán kính $R_1 = 5 \text{ cm}$, $R_2 = 15 \text{ cm}$ và có điện tích $q_1 = 6 \cdot 10^{-8} \text{ C}$, $q_2 = 2 \cdot 10^{-8} \text{ C}$, đặt xa nhau (coi như cô lập). Nối hai quả cầu bằng dây dẫn mảnh.

a) Hỏi electron sẽ chuyển động từ quả cầu nào sang quả cầu nào ?

b) Tính điện tích trên mỗi quả cầu và số electron đã dịch chuyển qua dây nối sau đó.

A. Giải:

a) Quả cầu dẫn điện cô lập là một vật đẳng thế, điện tích chỉ phân bố ở bề mặt quả cầu và điện thế của quả cầu được tính theo công thức.

$$V = k \frac{q}{R}, \text{ với } q, R \text{ là điện tích và bán kính quả cầu.}$$

$$\text{Hai quả cầu kim loại có điện thế là: } V = k \frac{q_1}{R_1}, \quad V_2 = k \frac{q_2}{R_2}$$

Theo đề bài $\frac{q_1}{R_1} > \frac{q_2}{R_2}$, vậy $V_1 > V_2$

Vì điện thế hai quả cầu khác nhau, nên khi nối hai quả cầu bằng một dây dẫn, các điện tích sẽ di chuyển từ quả cầu này sang quả cầu kia, cụ thể là các điện tích dương sẽ di chuyển từ quả cầu có điện thế cao (quả cầu 1) sang quả cầu có điện thế thấp (quả cầu 2). Vì electron mang điện tích âm nên khi nối hai quả cầu bằng dây dẫn, electron sẽ di chuyển từ quả cầu 2 sang quả cầu 1, cho đến khi điện thế hai quả cầu bằng nhau.

b) Gọi điện thế và điện tích của hai quả cầu sau khi electron ngừng di chuyển là q'_1, q'_2, V'_1, V'_2

$$\text{Ta có} \quad V'_1 = V'_2 \rightarrow k \frac{q'_1}{R_1} = k \frac{q'_2}{R_2},$$

$$\text{suy ra} \quad \frac{q'_1}{R_1} = \frac{q'_2}{R_2} = \frac{5}{15} = \frac{1}{3} \quad (1)$$

Mặt khác theo định luật bảo toàn điện tích, tổng điện tích của hệ hai quả cầu trước khi nối dây bằng tổng điện tích của chúng sau khi nối dây; nghĩa là :

$$q'_1 + q'_2 = q_1 + q_2 = (6 + 2) \cdot 10^{-8} \text{C} = 8 \cdot 10^{-8} \text{C} \quad (2)$$

Từ (1) và (2) ta tìm được: $q'_1 = 2 \cdot 10^{-8} \text{C}$ và $q'_2 = 6 \cdot 10^{-8} \text{C}$.

Điện lượng đã chạy qua dây nối là :

$$\Delta q = |q'_1 - q_1| = |q'_2 - q_2| = 4 \cdot 10^{-8} \text{C}$$

Số electron đã dịch chuyển qua dây nối là :

$$N = \frac{\Delta q}{e} = \frac{4 \cdot 10^{-8}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 2,5 \cdot 10^{11} \text{ electron}$$

B. Chú ý : Đây là loại bài toán về điện thế của các vật dẫn và sự di chuyển điện tích giữa các vật dẫn có điện thế khác nhau. Để giải bài toán này cần chú ý đến các tính chất của vật dẫn mang điện và điều kiện (về mặt điện thế) để điện tích có thể di chuyển từ vật nọ sang vật kia

($V_1 \neq V_2$) và di chuyển theo chiều nào. Để xác định điện tích của các vật và điện tích đã dịch chuyển cần áp dụng định luật bảo toàn điện tích.

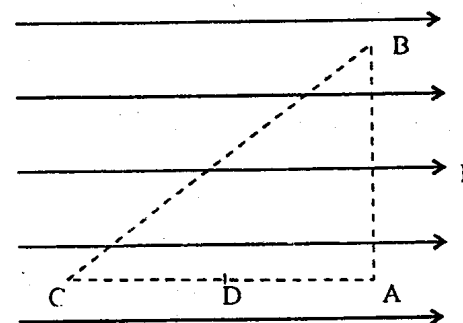
C. Bài tập tương tự : 4.12 (Xem III. Bài tập luyện tập)

8. Thí dụ 8.

Ba điểm A, B, C, tạo thành một tam giác vuông tại A có các cạnh $AC = 4\text{cm}$; $AB = 3\text{cm}$, nằm trong một điện trường đều có véc tơ cường độ điện trường $\vec{E}$ song song với CA, hướng từ C đến A (Hình 4.16).

a) Tính cường độ điện trường E , U_{AB} và U_{BC} biết rằng $U_{CD} = 100\text{V}$ (D là trung điểm của AC).

b) Tính công của lực điện trường khi một electron di chuyển từ C đến D.



Hình 4.16

A. Giải:

a) Theo công thức liên hệ giữa cường độ điện trường và hiệu điện thế :

$$E = \frac{U}{d} \text{ Ta có } U_{CD} = E \cdot CD, \text{ suy ra } E = \frac{U_{CD}}{CD} = \frac{100}{0,02} = 5000 \text{ V/m.}$$

Để tìm U_{AB} , ta giả sử có một điện tích q dịch chuyển từ A đến B. Theo định nghĩa của hiệu điện thế ta có: $U_{AB} = \frac{A_{AB}}{q}$

Trên đoạn đường AB, lực điện trường $F = qE$ luôn luôn vuông góc với AB nên công của lực điện trường $A_{AB} = 0$. Ta suy ra $U_{AB} = 0$ (mặt phẳng vuông góc với đường sức điện trường là mặt đẳng thế.)

Ta có: $U_{AB} = V_B - V_C = V_B - V_A + V_A - V_C = U_{AB} + U_{AC} = U_{AC}$.

Mặt khác: $U_{AC} = -U_{CA} = -E \cdot CA = -5000 \cdot 0,04 = -200 \text{ V}$.

$$U_{BC} = -200 \text{ V}$$

b) Công của lực điện trường khi một electron di chuyển từ A đến D:

$$A = -e U_{AD}$$

với $U_{AD} = -U_{DA} = -E_{DA} = -5000 \cdot 0,02 = -100 \text{ V}$.

Vậy $A = -1,6 \cdot 10^{-19} \cdot (-100) = 1,6 \cdot 10^{-17} \text{ J}$.

B.Chú ý: Đây là loại bài toán về mối liên hệ giữa cường độ điện trường và hiệu điện thế (trong trường hợp điện trường đều). Biết U có thể tìm được E và ngược lại. Khi áp dụng công thức $E = \frac{U}{d}$ cần chú ý rằng $U = V_A - V_B$ và $d = AB$ có giá trị dương khi đi từ A đến B theo chiều đường sức (chiều của E). Nói khác đi vectơ $\vec{E}$ hướng từ nơi có điện thế cao đến nơi có điện thế thấp từ đó xác định đúng dấu của hiệu điện thế U . Ngoài ra cũng cần lưu ý rằng hiệu điện thế giữa hai điểm nằm trên đường thẳng vuông góc với đường sức là bằng không.

C. Bài tập tương tự: 4.13, 4.14 (xem III. Bài tập luyện tập)

9. Thí dụ 9

Một tụ điện phẳng có hai bản hình tròn bán kính $R = 15 \text{ cm}$, đặt cách nhau $d = 5 \text{ mm}$, lớp điện môi giữa hai bản có hằng số điện môi $\epsilon = 4$.

a) Tính điện dung của tụ điện.

b) Đặt vào hai bản một hiệu điện thế $U = 100 \text{ V}$, tính điện trường giữa hai bản tụ điện, điện tích của tụ điện và năng lượng của tụ điện. Tụ điện có thể dùng làm nguồn điện được không?

A. Giải:

a) Áp dụng công thức tính điện dung của tụ điện phẳng.

$$C = \frac{1}{4\pi k} \frac{\epsilon S}{d}. \text{ Thay số: } k = 9 \cdot 10^9 \text{ đv SI; } d = 5 \text{ mm} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m;}$$

$S = \pi R^2$ với $R = 15 \text{ cm} = 15 \cdot 10^{-2} \text{ m}$; $\epsilon = 4$, ta được $C = 1 \mu\text{F}$.

b) Điện trường giữa hai bản tụ điện là:

$$E = \frac{U}{d} = \frac{100}{5 \cdot 10^{-3}} = 2 \cdot 10^4 \text{ V/m.}$$

Điện tích của tụ điện: $q = CU$, với $U = 100 \text{ V}$, ta có

$$Q = 10^{-6} \cdot 100 = 10^{-4} \text{ C.}$$

Năng lượng của tụ điện:

$$W = \frac{1}{2} CU^2 = \frac{10^{-6}}{2} \cdot (100)^2 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ J} = 5 \text{ mJ.}$$

Khi tụ điện phóng điện, tụ điện sẽ tạo thành dòng điện chạy trong dây dẫn nối hai bản tụ điện. Tuy nhiên thời gian phóng điện của tụ điện rất ngắn nên tụ điện không thể dùng làm nguồn điện được (vì dòng điện do nguồn điện sinh ra cần phải tồn tại ổn định trong một thời gian khá dài).

B.Chú ý: Đây là loại bài toán về tụ điện phẳng, chỉ cần áp dụng các công thức tính điện dung, điện tích, năng lượng (lưu ý rằng năng lượng tụ điện cũng là năng lượng của điện trường giữa hai bản tụ điện)... Khi tính toán bằng số cần chú ý đến đơn vị đo các đại lượng.

C. Bài tập tương tự: 4.15 (xem III. Bài tập luyện tập)

10. Thí dụ 10.

Một tụ điện phẳng không khí, có hai bản hình tròn bán kính $R = 24 \text{ cm}$ cách nhau $d = 2 \text{ cm}$, được nối với nguồn điện có hiệu điện thế $U = 200 \text{ V}$.

a) Hãy tính điện dung và điện tích tụ điện, cường độ điện trường và năng lượng điện trường giữa hai bản tụ điện.

b) Ngắt tụ điện khỏi nguồn rồi đưa vào khoảng giữa hai bản một tấm kim loại bề dày $l = 1 \text{ cm}$. Tính điện dung và hiệu điện thế tụ điện. Nếu tấm kim loại rất mỏng ($l \approx 0$) thì kết quả sẽ ra sao?

c) Thay tấm kim loại nói trên bằng một tấm thủy tinh bề dày $l = 1 \text{ cm}$ (có hằng số điện môi $\epsilon = 6$). Tính điện dung và hiệu điện thế của tụ điện.

A. Giải:

a) Điện dung của tụ điện phẳng không khí:

$$C_0 = \frac{1}{4\pi k} \frac{S}{d} = \frac{1}{4\pi k} \frac{\pi R^2}{d} = \frac{R^2}{4kd} \quad (1)$$

Thay số: $= 24 \text{ cm} = 24 \cdot 10^{-2} \text{ m}$; $d = 2 \text{ cm} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$,
ta được: $C_0 = 3,2 \cdot 10^{-10} \text{ F}$.

Điện tích của tụ điện:

$Q = C_0 U = 3,2 \cdot 10^{-10} \cdot 200 = 6,4 \cdot 10^{-8} \text{ C}$. Cường độ điện trường giữa hai bản tụ: $E = \frac{U}{d} = \frac{200}{0,02} = 10^4 \text{ V/m}$.

Mật độ năng lượng (trong một đơn vị thể tích) điện trường bằng:

$$\omega = \frac{E^2}{9 \cdot 10^9 \cdot 8\pi}$$

Năng lượng điện trường giữa hai bản tụ điện:

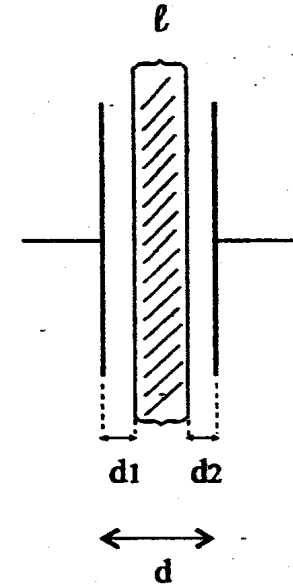
$$W = \omega \cdot V = \frac{E^2}{9 \cdot 10^9 \cdot 8\pi} \cdot Sd = \frac{E^2}{9 \cdot 10^9 \cdot 8\pi} \cdot \pi R^2 d$$

Thay số ta được: $W = 6,4 \cdot 10^{-6} \text{ J}$

(cũng có thể tính W theo công thức $W = \frac{1}{2} C_0 U^2$)

b) Khi ngắt tụ điện khỏi nguồn, điện tích trên các bản giữ nguyên bằng $Q = C_0 U$.

Khi đưa tấm kim loại vào khoảng giữa hai bản tụ điện (Hình 4.17), mỗi mặt kim loại và một bản tụ điện tạo thành một tụ điện. Kết quả là ta có hai tụ điện phẳng mắc nối tiếp, khoảng cách giữa các bản của chúng lần lượt bằng d_1 và d_2 (với $l_1 - l_2 = d - l$). Gọi C_1 và C_2 là điện dung của hai tụ điện đó. Tụ điện với bản kim loại có điện dung C được tính theo công thức của bộ tụ ghép nối tiếp:



Hình 4.17

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}, \text{ trong đó:}$$

$$C_1 = \frac{1}{4\pi k} \frac{S}{d_1}, \quad C_2 = \frac{1}{4\pi k} \frac{S}{d_2}$$

$$\text{Do đó: } \frac{1}{C} = 4\pi k \frac{d_1}{S} + 4\pi k \frac{d_2}{S} = 4\pi k \frac{d - l}{S} \quad (2)$$

$$\text{Từ (1) và (2) suy ra: } \frac{C_0}{C} = \frac{d - l}{S} \rightarrow C = \frac{d}{d - l}$$

$$C_0 = 6,4 \cdot 10^{-10} \text{ F}$$

Gọi U' là hiệu điện thế giữa hai bản tụ, ta có $Q' = CU'$.

Vì điện tích các bản không thay đổi $Q' = Q = CU$, ta suy ra:

$$U' = \frac{Q}{C} = \frac{Q}{\frac{d}{d - l} C_0} = \frac{d - l}{d} U \rightarrow U' = 100 \text{ V}$$

Nếu tấm kim loại rất mỏng, $l \approx 0$, ta có $C = C_0$, $U' = U$: Nghĩa là, điện dung và hiệu điện thế của tụ giữ nguyên không thay đổi khi ta đưa vào khoảng giữa hai bản một tấm kim loại rất mỏng.

c) Khi thay tấm kim loại bằng tấm thủy tinh ta có thể áp vào hai bên mặt tấm thủy tinh hai tấm kim loại thật mỏng mà điện dung của hệ không thay đổi. Nhưng khi đó tụ điện với tấm thủy tinh có thể coi như một bộ tụ gồm 3 tụ ghép nối tiếp: tụ điện không khí C_1 có khoảng cách hai bản tụ là d_1 ; tụ điện thủy tinh C_3 có khoảng cách giữa hai bản là l và tụ điện không khí C_2 có khoảng cách giữa hai bản là d_2 . Điện dung của tụ điện với tấm thủy tinh là C'' được tính theo công thức:

$$\frac{1}{C''} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$\text{Với } C_1 = \frac{1S}{4\pi k d_1}, C_2 = \frac{1S}{4\pi k d_2}, C_3 = \frac{1}{4\pi k} \frac{\epsilon S}{l}$$

$$\begin{aligned} \text{Do đó: } \frac{1}{C''} &= 4\pi k \frac{d_1}{S} + 4\pi k \frac{d_2}{S} + 4\pi k \frac{l}{\epsilon S} \\ &= 4\pi k \left[d_1 + d_2 \frac{l}{\epsilon} \right] = \frac{4\pi k}{S} \left[d - l + \frac{l}{\epsilon} \right] \end{aligned}$$

$$= \frac{4\pi k}{S} \left[d - l - \frac{l}{\epsilon} \right]$$

$$= \frac{4\pi k}{S} \left[d - l \left(1 - \frac{1}{\epsilon} \right) \right]$$

$$\text{Và từ đó, } C'' = \frac{1}{4\pi k} \cdot \frac{S}{d - l \left(1 - \frac{1}{\epsilon} \right)} \quad (3)$$

$$\text{Từ (1) và (3) ta suy ra } C'' = \frac{d}{d - l \left(1 - \frac{1}{\epsilon} \right)} C_0 \approx 5,49 \cdot 10^{-10} \text{ F.}$$

Hiệu điện thế giữa hai bản tụ bây giờ là:

$$U' = \frac{Q'}{C''} = \frac{C_0 U}{C''} = \left[\frac{d - l \left(1 - \frac{1}{\epsilon} \right)}{d} \right] U \approx 117 \text{ V.}$$

B. Chú ý: Đây là loại bài toán về ghép tụ điện phẳng đơn giản, chỉ cần phân tích xem các tụ điện phẳng ghép với nhau như thế nào và vận dụng các tính chất và công thức về bộ tụ ghép song song và ghép nối tiếp (với điều kiện ban đầu các tụ điện chưa tích điện). Cần chú ý phân biệt: trường hợp tụ điện vẫn nối với nguồn điện (khi đó U không đổi, nên nếu điện dung thay đổi thì điện tích của tụ điện thay đổi) và trường hợp tụ ngắt khỏi nguồn (khi đó điện tích tụ điện không thay đổi, cho nên nếu điện dung thay đổi thì hiệu điện thế thay đổi).

C. Bài tập tương tự: 4.16; 4.17 (xem III. Bài tập luyện tập)

11. Thí dụ 11.

Cho mạch điện gồm bốn tụ điện $C_1 = 2 \mu\text{F}$; $C_2 = 6 \mu\text{F}$; $C_3 = 12 \mu\text{F}$ và $C_4 = 8 \mu\text{F}$ mắc theo sơ đồ như ở hình 4.18. Nối vào hai đầu A và B của mạch điện một nguồn điện có hiệu điện thế $U_{AB} = 40 \text{ V}$. Hãy tính điện dung tương đương C_{AB} của mạch, điện tích và hiệu điện thế của mỗi tụ điện, trong hai trường hợp:

a) Khóa K mở (ngắt);

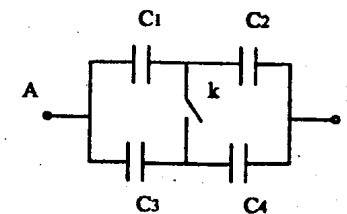
b) Khóa K đóng.

A. Giải:

a) Trường hợp K mở: Các tụ

điện được mắc sơ đồ sau:

(C_1 nối tiếp C_2) song song (C_3 nối tiếp C_4)
(kí hiệu gọn là: (C_1 nt C_2) // (C_3 nt C_4))



Hình 4.18

$$\text{Vì } C_1 \text{ nt } C_2 \text{ nên ta có: } C_{12} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{2 \cdot 6}{2 + 6} = 1,5 \mu\text{F}$$

$$\text{Vì } C_3 \text{ nt } C_4: C_{34} = \frac{C_3 C_4}{C_3 + C_4} = \frac{12 \cdot 8}{12 + 8} = 4,8 \mu\text{F}$$

$$\text{Vì } C_{12} // C_{34} \text{ nên } C_{AB} = C_{12} + C_{34} = 6,3 \mu\text{F}$$

Điện tích các tụ là:

$$Q_1 = Q_2 = Q_{12} = C_{12} \cdot U_{AB} = 60 \mu C;$$

$$Q_3 = Q_4 = Q_{34} = C_{34} \cdot U_{AB} = 192 \mu C.$$

Hiệu điện thế của các tụ:

$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = 30 \text{ V}; \quad U_2 = \frac{Q_2}{C_2} = 10 \text{ V};$$

$$U_3 = \frac{Q_3}{C_3} = 16 \text{ V}; \quad U_4 = \frac{Q_4}{C_4} = 24 \text{ V}$$

(Cũng có thể tính: $U_2 = U_{AB} - U_1$ và $U_4 = U_{AB} - U_3$.
Hiển nhiên là phải có: $U_1 + U_2 = U_3 + U_4 = U_{AB}$)

b) Trường hợp K đóng:

Các tụ điện được mắc theo sơ đồ sau: $(C_1 // C_3) \text{ nt } (C_2 // C_4)$

Ta có $C_{13} = C_1 + C_3 = 14 \mu F$; $C_{24} = C_2 + C_4 = 14 \mu F$

$$\text{Từ đó } C_{AB} = \frac{C_{13}C_{24}}{C_{13} + C_{24}} = 7 \mu F$$

Điện tích: $Q_{13} = Q_{24} = C_{BA} \cdot U_{AB} = 280 \mu C.$

Hiệu điện thế mỗi tụ:

$$U_1 = U_3 = U_{13} = \frac{Q_{13}}{C_{13}} = 20 \text{ V};$$

$$U_2 = U_4 = U_{24} = \frac{Q_{24}}{C_{24}} = 20 \text{ V}$$

Từ đó điện tích mỗi tụ bằng:

$$Q_1 = C_1 U_1 = 40 \mu C; \quad Q_2 = C_2 U_2 = 120 \mu C$$

$$Q_3 = C_3 U_3 = 240 \mu C; \quad Q_4 = C_4 U_4 = 160 \mu C$$

(Hiển nhiên là phải có $Q_1 + Q_3 = Q_{13}$; $Q_2 + Q_4 = Q_{24}$)

B. Chú ý: Đây là loại bài toán về mạch điện có tụ điện, trong đó cần xác định được điện tích, hiệu điện thế của mỗi tụ khi đặt vào mạch một hiệu điện thế. Để làm được các bài toán thuộc loại này cần phân tích xem các tụ điện trong mạch được ghép với nhau như thế nào (nối tiếp, song song...) đó áp dụng công thức $Q = CU$ và các công thức về ghép nối tiếp và ghép song song. Thường thì cần tính điện dung của cả mạch (theo các công thức đã biết), trên cơ sở đó tính điện tích ở từng phần mạch, từng tụ điện và hiệu điện thế tương ứng. Nói chung cần vận dụng linh hoạt công thức $Q = CU$ dưới các dạng $Q = CU$, $U = \frac{Q}{C}$. Cũng có thể có trường hợp phải tính C khi biết Q và U:

$C = \frac{Q}{U}$. Có thể kiểm tra kết quả thu được theo cách như đã làm ở thí dụ trên. Trong trường hợp riêng ta có mạch cầu tụ điện cân bằng (xem bài tập 4.19).

C. Bài tập tương tự: 4.18; 4.19 (xem III. Bài tập luyện tập)

12. Thí dụ 12.

Cho mạch điện gồm ba tụ điện $C_1 = C_2 = 6 \mu F$ và $C_3 = 12 \mu F$ mắc như hình vẽ (hình 4.19). Ban đầu các tụ điện chưa tích điện. Mắc vào hai đầu A, B của mạch điện một hiệu điện thế $U_{AB} = 36 \text{ V}$.

a) Tính hiệu điện thế và điện tích mỗi tụ khi khoá K ở vị trí 1 và sau đó khi khoá K ở vị trí 2.

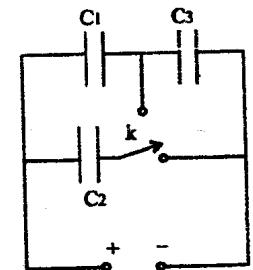
b) Tính điện lượng đã dịch chuyển qua điểm M và chiều dịch chuyển của nó khi khoá K từ vị trí 1 chuyển sang vị trí 2.

A. Giải:

a) Khi khoá k ở vị trí 1 (xem hình 4.20a) các tụ điện mắc theo sơ đồ.

$(C_1 \text{ nt } C_3) // C_2$ Vì $C_1 \text{ nt } C_3$:

$$C_{13} = \frac{C_1 C_3}{C_1 + C_3} = \frac{6 \cdot 12}{6 + 12} = 4 \mu F$$



Hình 4.19

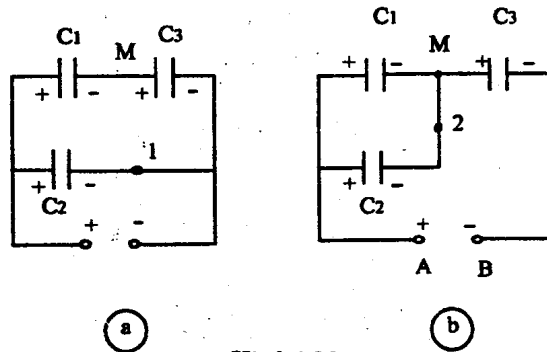
Điện tích và hiệu điện thế các tụ điện:

$$Q_1 = Q_3 = Q_{13} = C_{13}U_{AB} = 4.10^{-6}.36 \rightarrow Q_1 = Q_3 = 144 \mu C.$$

$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = 24 V; U_3 = \frac{Q_3}{C_3} = 12 V; U_2 = U_{AB} = 36 V$$

$$Q_2 = C_2U_{AB} = 12.10^{-6}.36 = 432 \mu C.$$

Khoá K chuyển sang vị trí 2 (xem hình 4.20b). Giả sử dấu điện tích trên các bản tụ điện là không đổi. Gọi hiệu điện thế và điện tích các tụ lần lượt là U_1, U_2, U_3 và Q_1, Q_2, Q_3 .



Hình 4.20

Ta có: $U_1 = U_2$ (1), và $U_1 + U_3 = U_{AB} = 36 V$ (2). Mặt khác, xét các bản tụ nối với M trước khi K đóng vào 2 và sau khi K đóng vào M, áp dụng định luật bảo toàn điện tích (đối với hệ gồm 3 bản tụ nối với M), ta có;

$$Q'_1 - Q'_2 + Q'_3 = -Q_1 - Q_2 + Q_3 \quad (3).$$

Chú ý rằng $Q'_1 = C_1U_1$, $Q'_2 = C_2U_2$, $Q'_3 = C_3U_3$, và thay các giá trị bằng số vào (1), (2), (3) ta rút ra hệ phương trình:

$$U_1 = U_2; U_1 + U_3 = 36 V;$$

$$-6U_1 - 6U_2 + 12U_3 = -261$$

Giải hệ phương trình ta được: $U_1 = 27 V$; $U_2 = 27 V$; $U_3 = 9 V$. Từ đó

$Q'_1 = C_1U_1 = 162 \mu C$; $Q'_2 = C_2U_2 = 162 \mu C$; $Q'_3 = C_3U_3 = 108 \mu C$. Ta thấy các đại lượng Q'_1, Q'_2, Q'_3 đều dương, chứng tỏ giả thiết của ta về dấu các điện tích trên các bản tụ (hình 4.20b) là đúng.

Điện tích đã dịch chuyển qua M bằng độ biến thiên của điện tích trên bản của C_3 nối với M. Điện tích trên bản đó đã giảm đi một lượng:

$\Delta Q = Q_3 - Q'_3 = 144 - 108 = 36 \mu C$. Như vậy có nghĩa là đã có một lượng điện tích $36 \mu C$ dịch chuyển qua M theo chiều ra khỏi C_3 khi khoá K chuyển từ vị trí 1 sang vị trí 2.

B. Chú ý: Đây là loại bài toán về mạch điện gồm các tụ điện đã được tích điện sau đó ghép lại với nhau; khi đó có sự phân bố lại điện tích trên các bản tụ của các tụ điện và có sự dịch chuyển của các điện tích trong mạch. Ở đây không vận dụng được các tính chất và các công thức của bộ tụ ghép nối tiếp và ghép song song đã nêu ra ở mục 1.

Để giải được bài toán ta dựa vào hai loại phương trình:

+ Phương trình về hiệu điện thế:

$$U = U_1 + U_2 + \dots (\text{nối tiếp})$$

$$U = U_1 = U_2 = \dots (\text{song song})$$

+ Phương trình bảo toàn điện tích của hệ cô lập (xét các bản nối với nhau thành một vật dẫn cô lập).

$$q_1 + q_2 + \dots = \text{const.}$$

Ta phải lập được số phương trình độc lập tương ứng với số cần tìm.

Để xác định được điện lượng Δq di chuyển qua một đoạn mạch (hoặc qua một điểm của đoạn mạch, như điểm M trong thí dụ trên chẳng hạn) ta vận dụng công thức:

$$\Delta q = |\Sigma q_2 - \Sigma q_1|$$

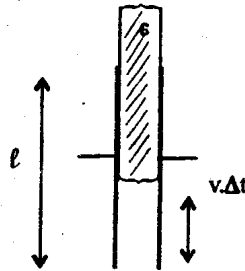
với Σq_2 là tổng các điện tích trên các bản tụ điện nối với một đầu của đoạn mạch (hoặc một điểm của đoạn mạch) lúc sau; Σq_1 là tổng các điện tích trên các bản tụ đó lúc đầu. Để tính được Δq cần phải xác định được dấu của điện tích trên các bản lúc đầu và lúc sau. Chiều dịch chuyển của điện tích

(được hiểu là điện tích dương) được xác định căn cứ vào dấu của Δq (chiều dịch chuyển của electron thì ngược với chiều đó).

C. Bài tập tương tự: 4.20 ; 4.21. (Xem III. Bài tập luyện tập)

13. Thí dụ 13.

Kẹp giữa hai bản của một tụ điện phẳng, có chiều dài $l = 20 \text{ cm}$, chiều rộng $a = 10 \text{ cm}$, là một bản thủy tinh dày $d = 0,1 \text{ cm}$ có hằng số điện môi $\epsilon = 5$. Người ta kéo từ từ tấm thủy tinh ra khỏi tụ điện dọc theo chiều dài của bản tụ điện với vận tốc không đổi. Hãy tính độ biến thiên năng lượng của tụ điện và công cơ học cần thiết để kéo tấm thủy tinh ra khỏi tụ điện trong hai trường hợp.



Hình 4.21

a) Tụ điện luôn luôn được nối với nguồn điện có hiệu điện thế $U = 600 \text{ V}$; tính cường độ dòng điện chạy trong mạch;

b) Sau khi được tích điện đến hiệu điện thế $U = 600 \text{ V}$ ta ngắt tụ điện khỏi nguồn rồi mới kéo tấm thủy tinh. Bỏ qua ma sát.

A. Giải:

a) Gọi C_1, C_2 là điện dung của tụ điện khi chưa kéo tấm thủy tinh và khi đã kéo tấm thủy tinh ra khỏi tụ điện, ta có:

$$C_1 = \frac{\epsilon S}{4\pi k \cdot d}, \quad C_2 = \frac{S}{4\pi k \cdot d}$$

với $S = a \cdot l$. Vì hiệu điện thế giữa hai bản tụ không thay đổi nên ta tính năng lượng tụ điện theo công thức

$W = \frac{1}{2} C U^2$. Độ biến thiên năng lượng tụ điện bằng:

$$\Delta W = W_2 - W_1 = \frac{1}{2} C_2 U^2 - \frac{1}{2} C_1 U^2 = \frac{1}{2} (C_2 - C_1) U^2$$

$$\Delta W = \frac{1}{2} (1 - \epsilon) C_2 U^2 = \frac{1}{2} (1 - \epsilon) \frac{a l U^2}{4\pi k \cdot d}$$

Thay số: $\epsilon = 5$; $a = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$; $l = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$; $U = 600 \text{ V}$; $k = 9 \cdot 10^9 \text{ đv SI}$; $d = 0,1 \text{ cm} = 10^{-3} \text{ m}$, ta được:

$$\Delta W = -1,27 \cdot 10^{-4} \text{ J} : \text{năng lượng tụ điện giảm đi.}$$

Để tính cường độ dòng điện chạy trong mạch ta áp dụng công thức $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$, trong đó ΔQ được suy từ công thức tính

điện tích tụ điện: $Q = CU$. Vì U không thay đổi nên Q thay đổi là do C thay đổi, nói cách khác $\Delta Q = U \cdot \Delta C$. Để tính ΔC ta tính điện dung của tụ điện sau khoảng thời gian Δt kể từ lúc bắt đầu kéo tấm thủy tinh (xem hình 4.21); khi đó tụ điện được xem như hệ gồm hai tụ điện mắc song song: tụ điện C' là tụ điện thủy tinh có chiều dài $(l - v \cdot \Delta t)$ và tụ điện C'' là tụ điện không khí có chiều dài $v \cdot \Delta t$ (vì sau khoảng thời gian Δt , tấm thủy tinh dịch chuyển một đoạn $v \cdot \Delta t$); chiều rộng a và khoảng cách hai bản d của hai tụ đó là như nhau. Điện dung C của tụ điện sau thời gian Δt bằng: $C = C' + C''$

$$\text{với } C' = \frac{\epsilon a (l - v \cdot \Delta t)}{4\pi k \cdot d}; \quad C'' = \frac{a \cdot v \cdot \Delta t}{4\pi k \cdot d}$$

Từ đó:

$$C = \frac{\epsilon a l}{4\pi k \cdot d} + \frac{(\epsilon - 1) a v \Delta t}{4\pi k \cdot d} = C_1 + \frac{(\epsilon - 1) a v \Delta t}{4\pi k \cdot d}$$

$$\text{Từ đó } \Delta C = C - C_1 = \frac{(\epsilon - 1) a v \Delta t}{4\pi k \cdot d}$$

Cường độ dòng điện bằng:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{U \cdot \Delta C}{\Delta t} = \frac{(\epsilon - 1) a v U}{4\pi k d} = 1,27 \cdot 10^{-7} \text{ A}$$

Công cơ học cần thiết A để kéo tấm thủy tinh gồm hai phần: phần làm thay đổi năng lượng tụ điện ΔW ; và phần A' làm dịch

chuyển điện tích theo chiều ngược với chiều dòng điện, với
 $A' = - (Q_2 - Q_1)U = - (C_2 - C_1) U^2 = (\epsilon - 1) C_2 U^2$
 (với Q_1, Q_2 lần lượt là điện tích của tụ điện lúc đầu và lúc sau). Ta có:

$$A = \Delta W + A' = \frac{\epsilon - 1}{2} C_2 U^2 = -\Delta W$$

Vậy $A = 1,27 \cdot 10^{-4} \text{ J}$

b) Nếu ngắt tụ điện khỏi nguồn khi kéo tấm thuỷ tinh thì điện tích của tụ điện không thay đổi và bằng $Q = Q_1 = C_1 U$. Để tính độ biến thiên năng lượng ta áp dụng công thức

$$W = \frac{Q^2}{2C} \text{ từ đó:}$$

$$\Delta W = \frac{Q^2}{2C_2} - \frac{Q^2}{2C_1} = \frac{Q^2}{2} \frac{C_1 - C_2}{C_2 C_1} = \frac{\epsilon(\epsilon - 1) C_2 U^2}{2}$$

Thay số ta được $\Delta W = 6,36 \cdot 10^{-4} \text{ JB}$.

Công cơ học A bằng độ biến thiên năng lượng tụ điện

$$A = \Delta W = 6,36 \cdot 10^{-4} \text{ J}$$

B. Chú ý: Đây là loại bài toán về sự biến thiên của năng lượng tụ điện có liên quan đến công của ngoại lực cơ học và công của nguồn điện (khi tụ điện nối với nguồn điện), nghĩa là có liên quan đến công của ngoại lực (bao gồm lực cơ học và lực điện). Để giải bài toán cần áp dụng định luật về độ biến thiên năng lượng của hệ (độ biến thiên năng lượng của hệ $(W_2 - W_1)$ bằng tổng công ngoại lực tác dụng lên hệ), ở đây hệ là tụ điện. Thường thì ta có thể tính được độ biến thiên năng lượng của tụ điện căn cứ vào dữ kiện đề bài, từ đó xác định được công của ngoại lực, công này thường khó xác định theo cách thông thường. Khi giải bài toán cần chú ý phân tích đề bài để tính toán cho đúng (chẳng hạn, tại sao ở câu a trong thí dụ trên ta lại dùng công thức $A' = - (Q_2 - Q_1) U$ mà không dùng công thức $A' = (Q_1 - Q_2) U$).

C. Bài tập tương tự: 4.22; 4.23 (Xem III. Bài tập luyện tập)

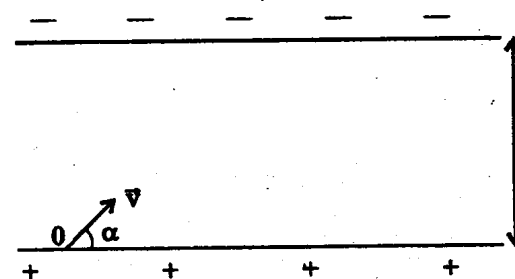
14. Thí dụ 14.

Một electron có

vận tốc ban đầu $\vec{V}_0$, bay vào khoảng không gian giữa hai bản kim loại phẳng song song, tích điện đều như nhau và trái dấu, qua một lỗ nhỏ ở bản dương; vận tốc

$\vec{V}_0$ lập với bản dương một góc α (Hình 4.22).

Khoảng cách giữa hai bản là d , hiệu điện thế giữa chúng là U .



Hình 4.22

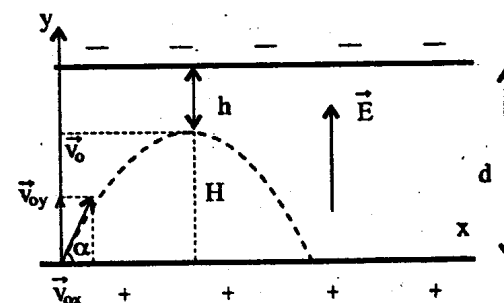
a) Quỹ đạo của electron có dạng như thế nào?

b) Tính khoảng cách h gần bản âm nhất mà electron có thể đạt tới. Bỏ qua tác dụng của trọng lực.

A. Giải:

a) Chọn hệ trục toạ độ Oxy, trục Oy hướng thẳng đứng lên trên. Vì bỏ qua tác dụng của trọng lực nên electron chỉ chịu tác dụng của lực

điện trường $\vec{E}$ (điện trường giữa hai bản là điện trường đều, hướng từ bản tích điện dương sang bản



Hình 4.23

tích điện âm): $\vec{F} = q\vec{E}$, lực này hướng ngược với chiều của $\vec{E}$, vì điện tích của electron $q = -e < 0$; và $E = \frac{U}{d}$.

Chuyển động của electron trong khoảng giữa hai bản kim loại có thể phân tích làm hai chuyển động thành phần:

- Chuyển động theo phương Ox là chuyển động đều (vì $F_x = 0$); có phương trình: $x = (V_0 \cos \alpha)t$; $V_x = V_0 \cos \alpha$; (1)

- Chuyển động theo phương Oy là chuyển động chậm dần đều, có phương trình: $y = (V_0 \sin \alpha)t - \frac{at^2}{2}$, (2)

$$\text{với } a = \frac{F_y}{m} = \frac{F}{m} = \frac{qE}{m} = \frac{eU}{md} \text{ (m là khối lượng của electron)}$$

$$\text{và } V_y = V_0 \sin \alpha - at \quad (3) \quad \text{Thay } t = \frac{x}{V_0 \cos \alpha}$$

$$\text{từ (1) và (2) ta được: } y = (\tan \alpha)x - \frac{a}{2V_0^2 \cos^2 \alpha} \cdot x^2$$

Như vậy quỹ đạo của electron là một đường parabol (xem hình 4.23)

b) Độ cao H lớn nhất mà electron đạt tới (khi đó electron ở gần bản âm nhất) tìm được từ điều kiện.

$$V_y = 0 \rightarrow t = \frac{V_0 \sin \alpha}{a} \text{ thay vào (2) ta được}$$

$$H = \frac{V_0^2 \cos^2 \alpha}{2a} = \frac{mV_0^2 \sin^2 \alpha \cdot d}{2eU}$$

$$\text{Từ đó } h = d - H = d \left(1 - \frac{mV_0^2 \sin^2 \alpha \cdot d}{2eU} \right)$$

B. Chú ý: Đây là loại bài toán về chuyển động của hạt mang điện trong điện trường, chịu tác dụng của lực điện

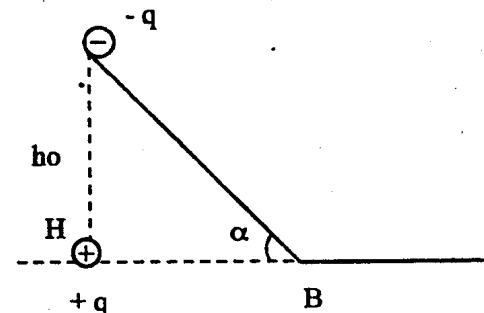
trường $\vec{F} = q\vec{E}$. Phương pháp giải bài toán này giống với phương pháp giải bài toán về chuyển động cơ học, với chú ý rằng, ngoài các lực cơ học tác dụng lên vật (trọng lực, lực ma sát, lực đàn hồi, lực căng T của sợi dây...) vật còn chịu tác dụng của lực điện; khi đó vật có thể chuyển động theo đường thẳng hoặc theo đường cong. Như vậy chỉ cần áp dụng các phương trình, công thức, định luật đã biết trong cơ học. Khi xét chuyển động của electron thường bỏ qua trọng lượng của electron (bỏ qua tác dụng của trọng lực), khi đó việc khảo sát chuyển động được đơn giản đi nhiều, bởi vì electron chỉ có gia tốc bằng $a = \frac{F}{m} = \frac{eE}{m}$. Còn điện

trường tác dụng lên vật mang điện trong các bài toán là điện trường đều. Trong một số trường hợp, ngoài các công thức và phương trình như đã nêu trong lời giải trên, còn cần áp dụng định luật bảo toàn năng lượng.

C. Bài tập tương tự: 4.24 ; 4.25 (Xem III. Bài tập luyện tập)

15. Thí dụ 15.

Một vật nhỏ, khối lượng m mang điện tích - q, trượt không ma sát từ độ cao h_0 trên một mặt phẳng nghiêng lập với mặt phẳng nằm ngang một góc α . Ở chân đường thẳng đứng AH đi qua vị trí ban đầu của vật có một điện tích + q nằm yên (xem hình 4.24).



Hình 4.24

Hãy xác định vận tốc V_B của vật khi nó xuống đến chân dốc B. Hãy khảo sát sự phụ thuộc của vận tốc V_B đó vào góc α , khi:

- a) $\alpha = 45^\circ$; b) $\alpha > 45^\circ$; và c) $\alpha < 45^\circ$

A. Giải:

Ta áp dụng định luật bảo toàn năng lượng.

Ngoài động năng ($\frac{mv^2}{2}$), vật mang điện còn có thế năng trọng trường ($W_{tt} = mgh$), và thế năng trong điện trường gây ra bởi điện tích $+q$ đặt tại H (W_{td}). Thế năng trong điện trường của vật bằng:

$$W_{td} = k \frac{(+q)}{r} = \frac{kq}{r}, \text{ với } k = 9 \cdot 10^9 \text{ đv SI; } r \text{ là khoảng}$$

cách từ vật đến điện tích q . Áp dụng định luật bảo toàn năng lượng cho hệ kín (Vật + (điện tích q)) (và trái đất) tại các vị trí A và B.

Ở vị trí A:

$$E_A = 0 + mgh_0 + (-q \cdot \frac{kq}{h_0}) = mgh_0 - \frac{kq^2}{h_0}$$

Ở vị trí B:

$$E_B = \frac{mv^2_B}{2} + 0 + (-q \cdot \frac{kq}{BH}) = \frac{mv^2_B}{2} - \frac{kq^2}{h_0 \cot \alpha}$$

$$\text{Vì } E_A = E_B, \text{ ta có: } mgh_0 - \frac{kq^2}{h_0} = \frac{mv^2_B}{2} - \frac{kq^2}{h_0 \cot \alpha}$$

$$\text{Từ đó } V_B^2 = 2 \left[gh_0 - \frac{kq^2}{mh_0} (1 - \operatorname{tg} \alpha) \right]$$

$$\text{hay } V_B = \sqrt{2 \left[gh_0 - \frac{kq^2}{mh_0} (1 - \operatorname{tg} \alpha) \right]} \quad (1)$$

Bài toán chỉ có lời giải khi

$$V_B^2 > 0, \text{ nghĩa là khi } gh_0 - \frac{kq^2}{mh_0} (1 - \operatorname{tg} \alpha) > 0 \quad (2)$$

Xét các trường hợp:

a) Khi $\alpha = 45^\circ$: ta có $\operatorname{tg} \alpha = 1$ và $V_B = \sqrt{2gh_0}$. Điều đó có nghĩa là vận tốc V_B của vật tại B có giá trị giống như là trường hợp không có điện tích $+q$ tại H, nghĩa là khi vật không chịu tác dụng của lực điện do điện tích $+q$ gây ra. Tuy nhiên cần chú ý rằng trong khi chuyển động từ A đến B vật luôn luôn chịu tác dụng của điện tích B (lúc đầu vật được tăng tốc, sau đó nó chịu tác dụng lực cản của điện trường, xét theo phương chuyển động).

b) Khi $\alpha > 45^\circ$ thì $1 - \operatorname{tg} \alpha < 0$, nghĩa là

$gh_0 - \frac{kq^2}{mh_0} (1 - \operatorname{tg} \alpha) > gh_0$, vận tốc V_B của vật B có giá trị lớn hơn so với trường hợp khi không có mặt điện tích $+q$ tại H.

c) Khi $\alpha < 45^\circ$, thì $1 - \operatorname{tg} \alpha > 0$, nghĩa là

$gh_0 - \frac{kq^2}{mh_0} (1 - \operatorname{tg} \alpha) < gh_0$. Vận tốc V_B của vật tại B có giá trị nhỏ hơn so với trường hợp khi không có mặt điện tích $+q$ tại H. Ngoài ra, khi đó, nếu α nhỏ hơn một trị số α_0 mà $gh_0 - \frac{kq^2}{mh_0} (1 - \operatorname{tg} \alpha) = 0$, thì $V_B = 0$. Trường hợp này khá lí thú:

Nếu không có ma sát (theo đề bài) vật sẽ dao động từ A đến B và ngược lại. Vận tốc của vật (do đó, động năng của nó) đạt giá trị cực đại ở khoảng giữa AB, tại đó thế năng của vật là cực tiểu.

Nếu $\alpha < \alpha_0$ thì vật không thể chuyển động đến B được; tùy theo trị số của α mà vật sẽ chuyển động đến một điểm C nào đó trên đường dốc, và sau đó có thể lại quay về A và dao động từ A đến C và ngược lại.

B. Chú ý: Đây là loại bài toán khảo sát chuyển động của điện tích dựa vào định luật bảo toàn năng lượng. (không áp dụng phương pháp động lực học như ở thí dụ 14). Cần xác định được thế năng của vật mang điện; ngoài thế năng của điện trường còn có thể có thế năng trọng trường và thế năng đàn hồi $W_{dh} = \frac{kx^2}{2}$, với k là độ cứng của lò xo, x là độ biến dạng. Thông thường chỉ có thêm thế năng trọng trường mà thôi. Áp dụng định luật bảo toàn năng lượng (với hệ kín) tại hai vị trí khác nhau của vật mang điện ta có thể tìm được lời giải. Cần lưu ý đến dấu của các điện tích khi tính đến thế năng.

Cũng chú ý thêm rằng, về nguyên tắc có thể giải bài toán ở thí dụ 15 bằng phương pháp động lực học, nhưng phép tính toán sẽ rất phức tạp vì ở đây lực tác dụng (lực điện) phụ thuộc vào khoảng cách (và phải vận dụng các kiến thức ngoài chương trình toán ở phổ thông).

C. Bài tập tương tự: 4.26; 4.27 (Xem III. Bài tập luyện tập)

III. BÀI TẬP LUYỆN TẬP

4.1. Cho hai quả cầu nhỏ bằng kim loại giống hệt nhau, đặt cách nhau một đoạn $r = 0,1\text{m}$ trong không khí. Ban đầu hai quả cầu đó được tích điện trái dấu, chúng hút nhau với lực $F_1 = 6,4 \cdot 10^{-2}\text{N}$. Sau đó cho hai quả cầu tiếp xúc với nhau, nối lại đưa chúng về vị trí cũ thì thấy chúng đẩy nhau với lực $F_2 = 3,6 \cdot 10^{-2}\text{N}$. Xác định điện tích của mỗi quả cầu trước khi cho chúng tiếp xúc với nhau.

4.2. Hai điện tích $q_1 = 4 \cdot 10^{-7}\text{C}$, $q_2 = -4 \cdot 10^{-7}\text{C}$ đặt cố định tại hai điểm A và B cách nhau $AB = a = 3\text{m}$, trong không khí. Hãy xác định lực điện tổng hợp tác dụng lên điện tích $q_3 = 4 \cdot 10^{-7}\text{C}$ đặt tại điểm C, với :

a) $CA = 2\text{cm}$; $CB = 1\text{cm}$;

b) $CA = 2\text{cm}$; $CB = 5\text{cm}$;

c) $CA = CB = 2,5\text{cm}$.

4.3. Cho hai điện tích $q_1 = 3 \cdot 10^{-7}\text{C}$, $q_2 = 1,2 \cdot 10^{-6}\text{C}$, không cố định, ban đầu được đặt cách nhau một đoạn $a = 6\text{cm}$ trong chân không. Người ta đặt thêm một điện tích thứ ba q_3 để hệ ba điện tích nằm cân bằng. Hãy xác định vị trí và độ lớn của q_0 .

4.4. Cho ba điện tích bằng nhau $q_1 = q_2 = q_3 = q = 2 \cdot 10^{-7}\text{C}$ đặt tại ba đỉnh một tam giác đều cạnh $a = 3\text{cm}$.

a) Tính lực điện tổng hợp tác dụng lên mỗi điện tích

b) Nếu ba điện tích đó không được giữ cố định thì phải đặt thêm một điện tích thứ tư q_4 ở đâu, có dấu và độ lớn như thế nào, để cho hệ bốn điện tích nằm cân bằng ?

4.5. Hai quả cầu kim loại nhỏ giống nhau, có cùng khối lượng $m = 0,1\text{g}$, cùng điện tích $q = 10^{-7}\text{C}$, được treo tại cùng một điểm bằng hai sợi dây mảnh có cùng chiều dài. Do lực đẩy tĩnh điện hai quả cầu tách ra xa nhau một đoạn $a = 30\text{cm}$. Tính góc lệch của dây treo so với phương thẳng đứng. Lấy $g = 10\text{m/s}^2$.

4.6. Hai quả cầu nhỏ bằng kim loại có cùng khối lượng $m = 1,8\text{g}$ được treo tại cùng một điểm bằng hai sợi dây mảnh có cùng chiều dài $l = 1,5\text{m}$.

a) Truyền cho hai quả cầu một điện tích $q = 1,2 \cdot 10^{-8}\text{C}$ thì thấy hai quả cầu tách ra xa nhau một đoạn a . Xác định a . Xem góc lệch của các sợi dây so với phương thẳng đứng là rất nhỏ. Lấy $g = 10\text{m/s}^2$.

b) Do một nguyên nhân nào đó một trong hai quả cầu bị mất hết điện tích. Khi đó hiện tượng sẽ xảy ra thế nào ? Tính khoảng cách mới giữa các quả cầu.

4.7. Ba điện tích q_1 , q_2 , q_3 được đặt tại ba đỉnh A, B, C của tam giác có cạnh $a = 3\text{cm}$. Xác định cường độ điện trường

tổng hợp tại A,B,C (do hai điện tích kia gây ra), trong hai trường hợp :

a) $q_1 = q_2 = q_3 = q = 2.10^{-7}C$

b) $q_1 = q_2 = q_3 = q = 2.10^{-7}C$ và $q_3 = -q = 2.10^{-7}C$

4.8. Cho hai điện tích điểm $q_1 = 4.10^{-8}C$ và $q_2 = -10^{-8}C$ đặt tại hai điểm A và B cách nhau một đoạn $AB = l = 5cm$. Xác định vị trí của điểm mà tại đó cường độ điện trường bằng 0.

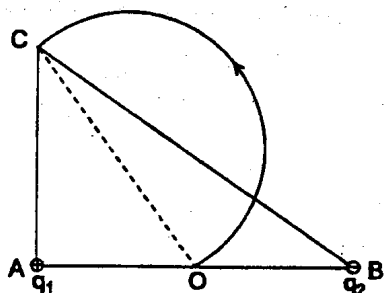
4.9. Một mặt phẳng rộng vô hạn được tích điện đều với mật độ điện mặt σ (điện tích trên một đơn vị diện tích của mặt phẳng). Xác định cường độ điện trường gây bởi mặt phẳng đó tại một điểm cách mặt phẳng một khoảng h.

4.10. Xác định cường độ điện trường gây ra bởi hai mặt phẳng rộng vô hạn, đặt song song với nhau, được tích điện đều, trái dấu với mật độ điện mặt σ và $-\sigma$

4.11. Tại hai đỉnh A và B của một tam giác vuông ABC ($AB = 4cm$; $AC = 3cm$) người ta đặt hai điện tích $q_1 = 5.10^{-9}C$ và $q_2 = 5.10^{-9}C$. (Hình 4.35)

a) Hãy tính điện thế tại điểm C và tại điểm O (trung điểm của AB);

b) Tính công của lực điện trường khi điện tích $q_3 = -10^{-9}C$ di chuyển từ O đến C dọc theo nửa đường tròn đường kính OC.



Hình 4.35

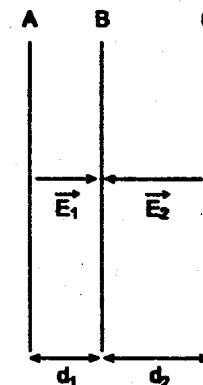
4.12. Hai quả cầu kim loại 1 và 2 có bán kính r_1, r_2 , mang điện tích q_1, q_2 , được đặt cách xa nhau trong không khí. Nối hai quả cầu bằng dây dẫn. Hỏi electron sẽ di chuyển từ quả cầu nào sang quả cầu nào? Xét các trường hợp.

a) $r_1 > r_2; q_1 = q_2 > 0$

b) $r_1 > r_2; V_1 = V_2$. So sánh q_1 và q_2

c) $q_1 > 0; q_2 < 0$

4.13. Cho ba bản kim loại phẳng A,B,C đặt song song với nhau, tích điện đều, cách nhau các khoảng $d_1 = 2,5cm$; $d_2 = 4cm$ (xem hình 4.36). Cho biết điện trường giữa các bản là đều, có độ lớn $E_1 = 8.10^4V/m$ và $E_2 = 10^5V/m$, và có chiều như trên hình vẽ. Nối bản A với đất (điện thế $V_A = 0$), hãy tính các điện thế V_B, V_C của hai bản B,C.



Hình 4.36

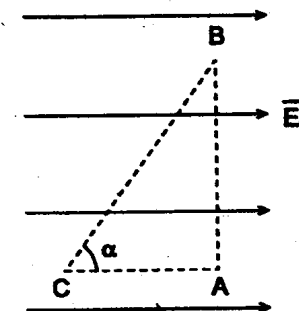
4.14. Trong điện trường đều $\vec{E}_0$ người ta đặt một tam giác

ABC vuông tại A (có $BAC = \alpha = 60^\circ$; $BC = 6cm$) sao cho cạnh AC song song với $\vec{E}_0$. Cho biết $U_{CB} = 120V$.

a) Tính $U_{AB}, U_{CB} = 120V$

b) Tính U_{AB}, U_{CB} và cường độ điện trường E_0 .

c) Đặt thêm một điện tích điểm $q = 9.10^{-10}C$. Tìm cường độ điện trường tổng hợp tại A.



Hình 4.37

4.15. Cho một tụ điện phẳng không khí, có hai bản hình tròn bán kính $10cm$, đặt cách nhau $d = 1cm$. Đặt vào hai bản một hiệu điện thế $U = 108V$. Tính điện trường giữa hai bản tụ điện, điện tích và năng lượng của tụ điện.

4.16. Một tụ xoay có 11 bản cực bằng nhau hình bán nguyệt, gồm 5 bản cố định và 6 bản linh động mắc xen kẽ nhau như ở hình 4.38. Cho biết điện tích của mỗi bản bằng

$S = 3,14\text{cm}^2$, khoảng cách giữa hai bản liên tiếp là $d = 2\text{mm}$, điện môi là không khí và điện tích đối diện giữa các bản có giá trị cực đại S .

a) Tính điện dung của tụ xoay đó.

b) Đặt vào tụ hiệu điện thế $U = 36\text{V}$, tính điện tích của tụ xoay.

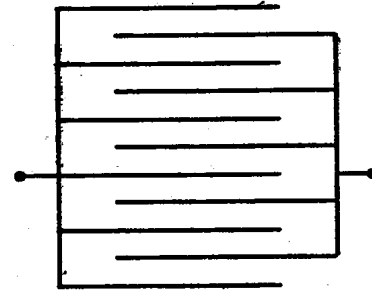
c) Muốn cho điện dung của tụ xoay bằng $25\mu\text{F}$ ta phải ghép vào tụ xoay trên bao nhiêu bản cực giống như trên.

4.17. Trong khoảng giữa hai bản của một điện phẳng, cách nhau một khoảng $d = 3\text{cm}$, người ta đặt hai bản kim loại mỏng song song với các bản tụ điện, sao cho khoảng cách giữa các bản kế tiếp bằng nhau (xem hình 4.39). Hai bản 1 và 4 được nối với nguồn điện có hiệu điện thế $U = 36\text{V}$ (bản 1 nối với cực âm của nguồn).

a) Tính điện thế của các bản. Chọn mốc tính điện thế là điện thế của bản 1 ($V_1 = 0$).

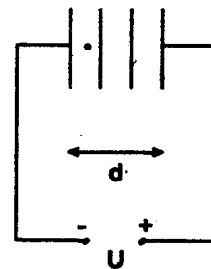
b) Nối bản 2 và bản 3 bằng một dây dẫn. Tính điện thế của các bản và cường độ điện trường giữa các bản. Điện tích trên các bản tụ điện khi đó thay đổi như thế nào?

4.18. Cho mạch tụ điện mắc như trên hình 4.41. Cho biết

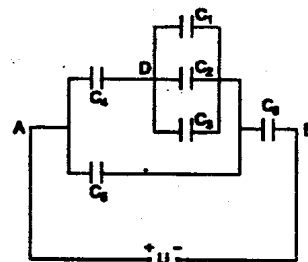


Hình 4.38

1 2 3 4



Hình 4.39



Hình 4.41

$C_1 = 2\mu\text{F}$; $C_2 = C_4 = C_6 = 6\mu\text{F}$; $C_3 = 4\mu\text{F}$; $C_5 = 8\mu\text{F}$. Điện tích của tụ điện C_1 là $q_1 = 2,4 \cdot 10^{-5}\text{C}$. Tính điện tích và hiệu điện thế của từng tụ điện và hiệu điện thế U của nguồn.

4.19. Cho mạch tụ điện như hình vẽ 4.42, trong đó $C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = C_6 = C = 4\mu\text{F}$; $U = 220\text{V}$. Tính điện tử và hiệu điện thế của mỗi tụ điện và điện dung tương đương của mạch.

4.20. Cho mạch tụ điện như trên hình 4.45. $C_1 = C_4 = 3\mu\text{F}$; $C_2 = C_3 = 1,5\mu\text{F}$; Ban đầu các tụ điện chưa tích điện và khoá K mở. Đặt vào mạch một hiệu điện thế $U_{AB} = 24\text{V}$.

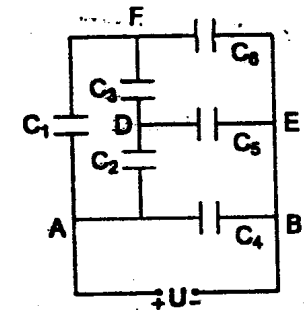
a) Tính điện tích và hiệu điện thế mỗi tụ điện.

b) Đóng khoá K. Tính điện tích và hiệu điện thế của mỗi tụ điện. Ngay sau khi đóng khoá K, điện lượng chuyển qua K bằng bao nhiêu và theo chiều nào?

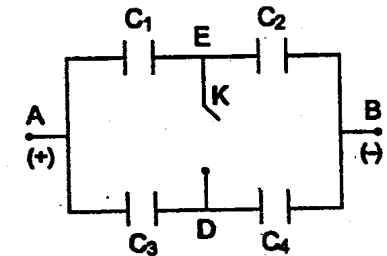
4.21. Cho mạch tụ điện như trên hình 4.46. $C_1 = 0,5\mu\text{F}$; $C_2 = 1\mu\text{F}$; $U_1 = 5\text{V}$; $U_2 = 40\text{V}$. Ban đầu khoá K mở như ở hình vẽ và hai tụ điện đều chưa tích điện.

a) Đóng K vào chốt (1), tính điện tích mỗi tụ.

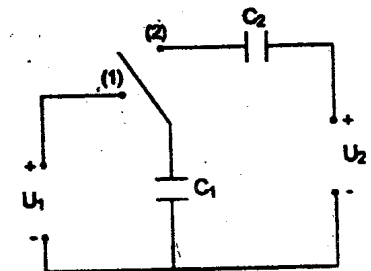
b) Chuyển K sang chốt (2),



Hình 4.42



Hình 4.45



Hình 4.46

tính hiệu điện thế và điện tích mỗi tụ. Ngay sau khi K đóng vào chốt (2) điện lượng chuyển qua K bằng bao nhiêu, theo chiều nào.

4.22. Một tụ điện $C_1 = 1 \mu\text{F}$ được tích điện đến hiệu điện thế $U = 180\text{V}$ rồi ngắt khỏi nguồn. Sau đó người ta mắc song song với nó một tụ điện $C_2 = 0,8 \mu\text{F}$ ban đầu chưa được tích điện. Hãy tính năng lượng của tia lửa điện phát ra khi nối hai tụ với nhau.

4.23. Một tụ điện phẳng không khí được tích điện bằng nguồn điện có hiệu điện thế U . Hỏi năng lượng của tụ điện đó thay đổi thế nào nếu giảm khoảng cách d giữa hai bản tụ đến giá trị $d' = \frac{d}{3}$. Xét hai trường hợp:

a) Tụ điện vẫn nối với nguồn;

b) Tụ điện ngắt khỏi nguồn khi bắt đầu thay đổi khoảng cách hai bản.

4.24. Một electron bay vào trong một tụ điện phẳng không khí theo hướng hợp với bản dương một góc $\alpha = 30^\circ$ và rời tụ điện theo phương song song với các bản tụ điện. Tính hiệu điện thế giữa hai bản tụ điện. Cho biết chiều dài của bản tụ $l = 10 \text{ cm}$; khoảng cách giữa hai bản $d = 2 \text{ cm}$; trước khi bay vào tụ điện đó electron có động năng ban đầu $W_0 = 3000 \text{ eV}$. Bỏ qua tác dụng của trọng lực.

4.25. Hai bản kim loại đặt nằm ngang, song song với nhau, cách nhau một khoảng $d = 1 \text{ cm}$, được nối với nguồn điện có hiệu điện thế $U = 1 \text{ kV}$. Ở đúng giữa khoảng cách hai bản có một giọt thủy ngân nhỏ tích điện nằm lơ lửng. Đột nhiên hiệu điện thế của nguồn giảm xuống còn bằng $U' = 995 \text{ V}$. Hỏi sau bao lâu giọt thủy ngân rơi xuống đến bản dưới. Lấy $g = 10 \text{ m/s}^2$.

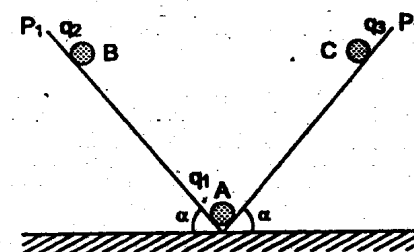
4.26. Một hạt bụi nằm cố định tại điểm O và thừa 1000 electron. Từ rất xa có một electron chuyển động về phía hạt bụi với vận tốc ban đầu $V_0 = 10^5 \text{ m/s}^2$. Xác định khoảng cách nhỏ nhất mà electron đó có thể tiến đến gần hạt bụi. Bỏ qua tác dụng của trọng trường.

4.27. Ba quả cầu kim loại nhỏ, có cùng khối lượng $m = 0,1 \text{ g}$ và có cùng điện tích $q = 10^{-7} \text{ C}$, lúc đầu được giữ nằm yên tại ba đỉnh của một tam giác đều có cạnh $a = 1,5 \text{ cm}$. Cùng một lúc buông ba quả cầu đó ra thì chúng dịch chuyển ra xa nhau theo phương các đường trung trực của tam giác (một cách đối xứng) do tác dụng của lực đẩy tĩnh điện giữa chúng (bỏ qua tác dụng của trọng lực). Hãy tính:

a) Vận tốc của mỗi quả cầu khi chúng cách nhau một khoảng $r = 4,5 \text{ cm}$;

b) Công của lực điện trường để làm cho mỗi quả cầu dịch chuyển ra rất xa hai quả cầu kia.

4.28. Ba quả cầu kim loại nhỏ tích điện cùng dấu q_1, q_2 và q_3 ($q_2 = q_3$), có thể chuyển động tự do dọc theo phía trong của một vành tròn không dẫn điện đặt nằm ngang. Khi ba quả cầu nằm cân bằng, góc ở đỉnh của tam giác tạo bởi ba quả cầu đó bằng 30° . Tính tỉ số q_1/q_2 .



Hình 4.53

4.29. Trên hai tấm thủy tinh phẳng nhẵn P_1 và P_2 cùng nghiêng một góc $\alpha = 60^\circ$ đối với mặt bàn nằm ngang có ba quả cầu nhỏ A, B, C khối lượng $m_1 = m_2 = 2\text{g}$ và m_3 , mang điện tích $q_1 = q_2 = 6 \cdot 10^{-6} \text{ C}$, $q_3 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ C}$. Quả cầu A nằm ở chân của hai mặt phẳng P_1, P_2 ; còn hai quả cầu B và C có thể trượt không ma sát trên P_1 và P_2 . Khi cân bằng hai quả cầu B và C ở cùng một độ cao và tâm của ba quả cầu nằm trong mặt phẳng thẳng đứng. Hãy tính m_3 và khoảng cách giữa ba quả cầu. Cân bằng đó có bền không?

4.30. Hai quả cầu nhỏ tích điện có cùng bán kính và khối lượng, được treo vào một điểm bằng hai sợi dây tơ, dài bằng nhau và nhúng vào điện môi lỏng có khối lượng riêng D_1 và hằng số điện môi ϵ . Các quả cầu phải có khối lượng riêng bằng bao nhiêu để cho góc lệch giữa hai sợi dây là như nhau khi hai quả cầu được đặt trong không khí cũng như trong điện môi lỏng. Xét trường hợp điện môi là dầu hỏa có $\epsilon = 2$ và $D_1 = 800 \text{ kg/m}^3$.

4.31. Ba quả cầu nhỏ như nhau, bằng kim loại, có cùng khối lượng $m = 10\text{g}$ được treo vào một điểm bằng ba sợi dây tơ dài bằng nhau $l = 1\text{m}$. Tích điện như nhau cho ba quả cầu người ta thấy chúng lập thành một tam giác đều có cạnh $a = 0,1\text{m}$. Tìm điện tích q của mỗi quả cầu.

4.32. Một vòng dây dẫn mảnh có bán kính R mang điện tích q

a) Xác định cường độ điện trường do vòng dây dẫn đó gây ra tại một điểm M nằm trên trục của vòng dây cách tâm O của vòng dây một khoảng $OM = h$. Xét trường hợp điểm M trùng với tâm ($h = 0$) và điểm M ở rất xa vòng dây ($h = \infty$)

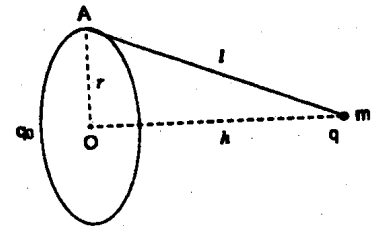
b) Xác định điện thế tại điểm M .

4.33. a) Một dây dẫn dài vô hạn tích điện đều với mật độ điện dài λ . Xác định cường độ điện trường do dây dẫn gây ra tại một điểm M cách dây một đoạn h .

b) Một hạt bụi mang điện tích $q_1 = 200e$ (e là điện tích nguyên tố) nằm cách một dây dẫn căng thẳng một khoảng $h = 0,4 \text{ cm}$ và ở gần đường trung trục của dây dẫn ấy. Tính lực tác dụng lên hạt bụi đó. Cho biết dây dẫn dài $l = 1,5 \text{ m}$ và mang điện tích $q_2 = 2 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ phân bố đều trên dây.

4.34. Hai quả cầu kim loại nhỏ, có khối lượng m và M , mang điện tích $-q$ và $+Q$ được đặt trên đường sức của một điện trường đều, cách nhau một khoảng d . Biết rằng khi buông ra hai quả cầu đó chuyển động với khoảng cách giữa chúng vẫn bằng d . Hãy xác định chiều của đường sức và độ lớn của véc tơ cường độ điện trường. Bỏ qua tác dụng của trọng lực.

4.35. Một vòng dây dẫn mảnh, bán kính $r = 0,1\text{m}$, tích điện q_0 phân bố đều trên vòng dây, được đặt trong mặt phẳng thẳng đứng. Một quả cầu kim loại nhỏ khối lượng $m = 1\text{g}$ mang điện tích $q = q_0$ được treo bằng một sợi dây tơ chiều dài $l = 14,4 \text{ cm}$ vào điểm cao nhất A của vòng dây. (Hình 4.57). Khi cân bằng quả cầu nằm trên trục của vòng dây. Tính q . Lấy $g = 10 \text{ m/s}^2$.



Hình 4.57

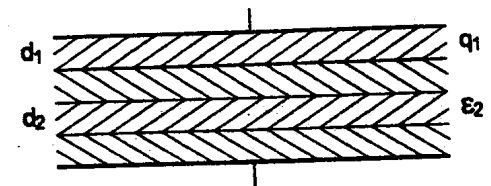
4.36. Tại sáu đỉnh của một hình lục giác đều ABCDEF cạnh $a = 3 \text{ cm}$ người ta lần lượt đặt các điện tích $q_1 = -1,2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$; $q_2 = -10^{-6} \text{ C}$; $q_3 = -8 \cdot 10^{-7} \text{ C}$; $q_4 = -6 \cdot 10^{-7} \text{ C}$; $q_5 = -4 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ và $q_6 = -2 \cdot 10^{-7} \text{ C}$. Xác định cường độ điện trường tại tâm O của hình lục giác đó.

4.37. Một quả cầu kim loại bán kính R_1 được tích điện đến điện thế V rồi được bao bằng một vỏ cầu kim loại bán kính R_2 .

a) Điện thế của quả cầu thay đổi ra sao nếu nó được nối với vỏ cầu bằng một dây dẫn?

b) Tính điện thế của quả cầu khi vỏ cầu được nối với đất.

c) Tính điện dung của tụ điện cấu tạo nên bởi quả cầu và vỏ cầu.



Hình 4.58

4.38. Khoảng giữa hai bản của một tụ điện phẳng là n lớp điện môi có bề dày lần lượt là $d_1, d_2, \dots, d_n$ có

hằng số điện môi tương ứng là $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_n$. Tính điện dung của tụ điện đó. (Hình 4.58).

Áp dụng để tính điện dung của một tụ điện phẳng có hai bản diện tích $S = 400 \text{ cm}^2$, cách nhau $d = 3 \text{ mm}$, giữa hai bản có lớp paraffin dày $d_1 = 1 \text{ mm}$ có hằng số điện môi $\epsilon = 2$, phần còn lại là không khí.

4.39. Khoảng cách giữa hai bản của một tụ điện phẳng không khí là $d = 1,5 \text{ cm}$. Người ta đặt vào hai bản một hiệu điện thế $U = 3,9 \cdot 10^4 \text{ V}$.

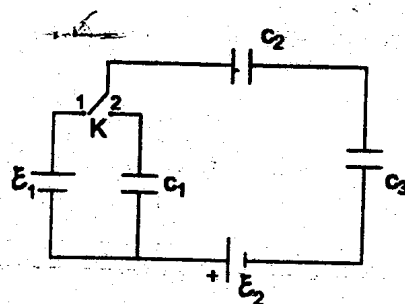
a) Hỏi tụ điện có bị “đánh thủng” không. Cho biết không khí trở thành dẫn điện khi cường độ điện trường lớn hơn giá trị $E_k = 3 \cdot 10^6 \text{ V/m}$ (E_k thường được gọi là điện trường giới hạn).

b) Nếu khi đó lại đặt vào giữa hai bản một bản thủy tinh dày 3 mm , có hằng số điện môi $\epsilon = 7$ thì tụ điện có bị hỏng không, biết rằng điện trường giới hạn đối với thủy tinh là $E_t = 10^7 \text{ V/m}$.

4.40. Hai bản của một tụ điện phẳng đặt thẳng đứng có chiều rộng b , chiều cao h , đặt cách nhau một khoảng rất nhỏ d ($d \ll b, h$). Mép dưới của hai bản tụ điện chạm vào một khối điện môi lỏng có hằng số điện môi ϵ và khối lượng D .

a) Nối hai bản tụ điện với nguồn điện có hiệu điện thế U , người ta thấy điện môi dâng lên trong khoảng giữa hai bản đến độ cao H . Hãy giải thích hiện tượng đó và tính H . Bỏ qua hiện tượng mao dẫn.

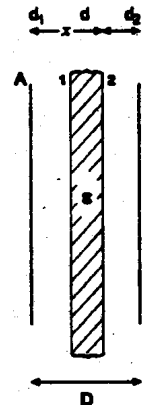
b) Nếu trước khi cho hai bản tụ điện chạm vào mặt chất lỏng, người ta tích điện rồi ngắt tụ điện khỏi nguồn thì hiện tượng có gì khác trước. Tính độ cao của cột điện môi giữa hai bản.



Hình 4.60

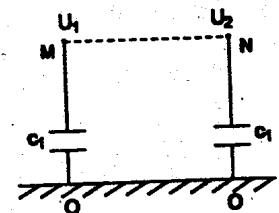
4.41. Cho mạch tụ điện có sơ đồ như hình vẽ (Hình 4.60). Ban đầu khoá K đóng vào chốt 1, sau đó ta chuyển khoá K sang chốt 2. Tính điện tích và hiệu điện thế trên các tụ điện khi K ở chốt 2. Xác định độ lớn và chiều dịch chuyển của điện tích qua K ngay sau khi K chuyển sang chốt 2.

4.42. Cho hai mặt phẳng kim loại A, B song song tích điện đều, đặt trong không khí, cách nhau một khoảng $D = 1 \text{ cm}$, lần lượt có mật độ điện mặt bằng $\sigma_A = 2 \cdot 10^{-9} \text{ C/m}^2$ và $\sigma_B = 10^{-9} \text{ C/m}^2$. Đặt vào khoảng giữa hai mặt đó một lớp điện môi song song với hai mặt, bề dày $d = 5 \text{ mm}$, hằng số điện môi $\epsilon = 2$ (Hình 4.61). Tính hiệu điện thế giữa hai mặt đó.



Hình 4.61

4.43. Hai tụ điện $C_1 = 2 \mu\text{F}$; $C_2 = 0,5 \mu\text{F}$, có một bản nối đất, hiệu điện thế giữa các bản phía trên của các tụ điện và đất lần lượt bằng $U_1 = 100 \text{ V}$, $U_2 = -50 \text{ V}$ (Hình 4.62). Tính nhiệt lượng toả ra khi nối các bản phía trên (bản không nối đất) của hai tụ điện bằng một dây dẫn.

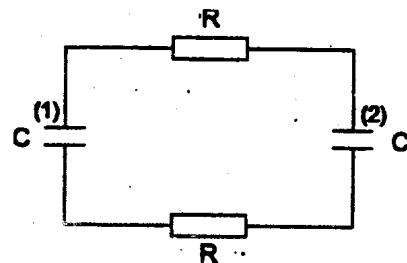


Hình 4.62

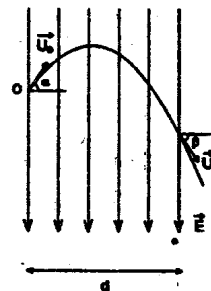
4.44. Hai tụ điện phẳng không khí giống nhau, điện tích mỗi bản tụ là $S = 400 \text{ cm}^2$ và khoảng cách giữa các bản là $d_1 = 0,6 \text{ mm}$, được tích điện bằng nguồn điện có hiệu điện thế $U_0 = 500 \text{ V}$, sau đó được nối với nhau bằng hai điện trở $R = 12,5 \text{ kW}$ như trên hình vẽ. Các bản của mỗi tụ điện được đưa ra cách nhau $d_2 = 1,8 \text{ mm}$ trong thời gian $t = 3 \text{ s}$, theo hai

cách: đồng thời tách xa các bản của cả hai tụ; lần lượt tách các bản của một tụ, sau đến lượt tụ kia. Hỏi cách nào tốn nhiều công hơn và tốn hơn bao nhiêu?

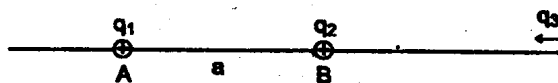
4.45. Một hạt có khối lượng $m = 0,1\text{g}$ mang điện tích $q = 10^{-8}\text{C}$ bay vào trong một miền điện trường đều (có đường sức theo phương thẳng đứng xuống dưới) dưới góc $\alpha = 45^\circ$ và bay ra khỏi miền đó dưới góc $\beta = 60^\circ$ so với phương nằm ngang (Hình 4.64). Hãy tính vận tốc ban đầu v_0 của hạt. Cho biết điện trường có cường độ $E = 10^6\text{ V/m}$ và có bề rộng $d = 10\text{ cm}$. Bỏ qua tác dụng của trọng lực.



Hình 4.63



Hình 4.64



Hình 4.65

4.46. Tại hai điểm A và B cách nhau một đoạn $a = 20\text{ cm}$ có hai điện tích điểm được giữ cố định $q_1 = +9 \cdot 10^{-6}\text{C}$ và $q_2 = -10^{-6}\text{C}$. Một hạt có khối lượng $m = 0,1\text{g}$ và có điện tích $q_3 = 10^{-6}\text{C}$, chuyển động từ rất xa đến, theo đường BA như trên hình 4.65. Hỏi hạt phải có vận tốc ban đầu tối thiểu bằng bao nhiêu để nó có thể đến được điểm B. Bỏ qua tác dụng của trọng trường.

HƯỚNG DẪN GIẢI VÀ ĐÁP SỐ BÀI TẬP LUYỆN TẬP CHƯƠNG IV

4.1. Gọi q_1, q_2 là điện tích của quả cầu 1 và quả cầu 2 trước khi chúng tiếp xúc với nhau. Độ lớn của lực tương tác của chúng được xác định theo định luật Culông:

$$F_1 = k \frac{|q_1 q_2|}{r_2^2}; \text{ từ đó } q_1 q_2 = -\frac{F_1 r^2}{k} \text{ (có dấu " - " vì hai điện}$$

tích q_1 và q_2 trái dấu). Thay số ta được: $q_1 q_2 = -\frac{6,4}{9} \cdot 10^{-13} \text{ (1)}$.

Sau khi tiếp xúc với nhau, điện tích của hai quả cầu trở thành bằng nhau và có độ lớn bằng $\frac{|q_1 + q_2|}{2}$, do đó lực đẩy giữa chúng là:

$$F^2 = \frac{k \left(\frac{q_1 + q_2}{2} \right)^2}{r^2}$$

suy ra $(q_1 + q_2)^2 = \frac{4F_2 r^2}{k}$. Thay số ta được:

$$(q_1 + q_2)^2 = 16 \cdot 10^{-14}$$

hay $q_1 + q_2 = \pm 4 \cdot 10^{-7} \text{ (2)}$

Giải hệ phương trình (1) và (2) ta được

$$q_1 = -\frac{4}{3} \cdot 10^{-7} \approx -1,33 \cdot 10^{-7}\text{C};$$

$$q_2 = -\frac{16}{3} \cdot 10^{-7} \approx 5,33 \cdot 10^{-7}\text{C};$$

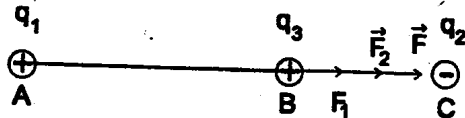
hoặc $q_1 = \frac{4}{3} \cdot 10^{-7} \approx -1,33 \cdot 10^{-7}\text{C};$

$$q_2 = \frac{16}{3} \cdot 10^{-7} \approx 5,33 \cdot 10^{-7}\text{C};$$

4.2. Gọi $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ là lực điện của q_1 và q_2 tác dụng lên q_3 ,
lực điện tổng hợp tác dụng lên q_3 là $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$.

a) Vì $AC + CB = AB$
nên điểm C nằm trong
đoạn AB. Vì q_1 và q_3
đều là điện tích dương

nên $\vec{F}_1$ là lực đẩy,
còn q_2 và q_3 trái
dấu nên $\vec{F}_2$ là lực hút.



Hình 4.25

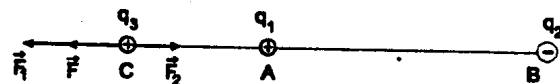
Trên hình 4.25 ta thấy $\vec{F}_1$ và $\vec{F}_2$ cùng chiều. Do đó lực
điện tổng hợp $\vec{F}$ cùng chiều với $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ (nghĩa là có hướng
từ C đến B), và có độ lớn bằng :

$$F = F_1 + F_2 = k \frac{|q_1 q_3|}{AC^2} + k \frac{|q_2 q_3|}{BC^2}$$

Thay số ta được $F = 18N$

b) Vì $CB - CA = AB$ nên điểm C nằm trên đường thẳng qua
A, B, ở ngoài đoạn
AB và ở gần điểm
A (xem hình 4.26).

Trên hình vẽ ta
thấy $\vec{F}_1$ và $\vec{F}_2$ ngược
chiều, và có độ lớn:



Hình 4.26

$$F_1 = k \frac{|q_1 q_3|}{AC^2} = 3,6N$$

$$F_2 = k \frac{|q_2 q_3|}{BC^2} = 0,576N$$

Như vậy $F_1 > F_2$. Do đó lực điện tổng hợp có chiều của
 $\vec{F}_1$ (nghĩa là có hướng ra xa A) và có độ lớn:

$$F = F_1 - F_2 = 3,024 N$$

c) Vì $CA = CB$ nên điểm C nằm trên đường trung trực
của đoạn AB. Các lực $\vec{F}_1$ và $\vec{F}_2$ có chiều như trên hình 4.27
và có độ lớn :

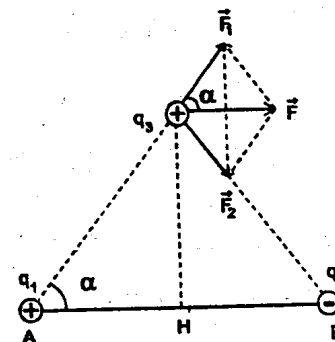
$$F_1 = k \frac{|q_1 q_3|}{AC^2} = 2,304N$$

$$F_2 = k \frac{|q_2 q_3|}{CB^2} = 2,304N$$

Như vậy $F_1 = F_2$; do đó lực
điện tổng hợp $\vec{F}$ nằm trên
đường phân giác của góc
($\vec{F}_1, \vec{F}_2$), nghĩa là có phương
song song với AB, có chiều theo
hướng từ A đến B; và có độ lớn

$$F = 2F_1 \cos \alpha, \cos \alpha = \frac{AH}{AC}$$

Thay số ta được : $F = 2,765N$



Hình 4.27

4.3. Muốn cho hệ ba điện tích nằm cân bằng thì lực điện
tổng hợp tác dụng lên mỗi điện tích do hai điện tích kia gây
ra phải bằng không, nghĩa là hai lực điện tác dụng lên mỗi
điện tích phải là hai lực trực đối. Điều kiện đó chỉ được thỏa
mãn khi cả ba điện tích nằm trên cùng một đường thẳng.
Nói khác đi điện tích thứ ba q_3 phải nằm trên đường thẳng
AB đi qua điểm đặt các điện tích q_1 và q_2 . Hơn nữa muốn cho
điện tích q_3 nằm cân bằng khi q_1 và q_2 nằm tại A và B thì
 q_3 phải đặt tại điểm C nằm trên đoạn AB (vì
 q_1 và q_2 cùng dấu), vị trí điểm C được xác định từ điều kiện

$F_{13} = F_{23}$ (1), ở đây $\vec{F}_{13}$ là lực điện

do q_1 tác dụng lên q_3 và $\vec{F}_{23}$ là lực điện do q_2 tác dụng lên q_3 .

Đặt $CA = x$, từ (1) suy ra

$$k \frac{q_1 |q_3|}{x^2} = k \frac{q_2 |q_3|}{(a-x)^2}$$

Hình 4.28

từ đó

$$q_1 (a-x)^2 = q_2 x^2$$

Thay số ta được $3(6-x)^2 = 12x^2$. Giải ra ta có $x = 2\text{cm}$. Kết quả này đúng với mọi dấu và độ lớn của q_3 nếu như q_1 và q_2 được giữ cố định. Nhưng vì q_1 và q_2 không được giữ cố định, nên muốn cho q_1 (hoặc q_2) nằm cân bằng thì dễ dàng

thấy rằng q_3 phải là điện tích âm (để cho các lực $\vec{F}_{21}$ và $\vec{F}_{31}$ do q_2 và q_3 tác dụng lên q_1 là hai lực trực đối), hơn nữa q_3 phải có độ lớn sao cho $F_{21} = F_{31}$, nghĩa là:

$$k \frac{|q_3| q_1}{x^2} = k \frac{q_2 q_1}{a^2}; \quad \text{Từ đó suy ra } |q_3| = q_2 \frac{x^2}{a^2}$$

Thay số ta được $|q_3| = \frac{4}{3} \cdot 10^{-7} \text{C}$. Như vậy $q_3 = -\frac{4}{3} \cdot 10^{-7} \text{C}$.

Dễ dàng thấy rằng với độ lớn đó của q_3 ta cũng có $F_{12} = F_{32}$ nghĩa là điện tích q_2 nằm cân bằng.

Vậy muốn cho hệ ba điện tích nằm cân bằng thì điện tích q_3 phải đặt tại điểm C (với $CA = x = 2\text{cm}$) và có độ lớn $q_3 = -\frac{4}{3} \cdot 10^{-7} \text{C}$.

4.4. a) Vì ba điện tích q_1, q_2, q_3 có độ lớn bằng nhau và cách đều nhau, cho nên chỉ cần xác định lực điện tổng hợp tác dụng lên điện tích q_3 đặt tại C và từ đó suy ra cho hai điện tích kia. Áp dụng định luật Culông và quy tắc hợp lực (hình bình hành)

ta thấy lực $\vec{F}$ tác dụng lên điện tích q_3 đặt tại C có phương vuông góc với AB, có chiều hướng ra xa và có độ lớn (Hình 4.29):

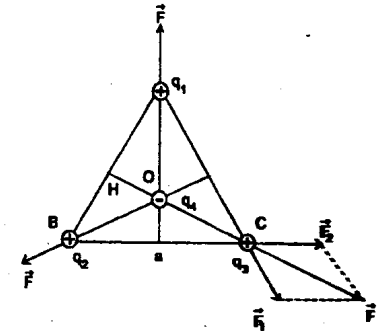
$F = 2F_1 \cos 30^\circ$, trong đó

$$F_1 = k \frac{q^2}{a^2} \text{ hay } F_1 = k \frac{q^2}{a^2} \sqrt{3}$$

Thay số ta được:

$$F = 0,0897 \text{N}.$$

Đối với các điện tích q_1 và q_2 ta cũng có kết quả tương tự: lực điện tổng hợp tác dụng lên q_1 có phương vuông góc với BC, có chiều hướng ra xa BC và có độ lớn bằng $F = 0,0879 \text{N}$; lực điện tổng hợp tác dụng lên q_2 có phương vuông góc với AC, có chiều hướng ra xa AC và có độ lớn bằng $F = 0,0879 \text{N}$.



Hình 4.29

b) Trước tiên ta giả sử ba điện tích đó nằm tại ba đỉnh A, B, C. Muốn cho điện tích thứ tư q_4 nằm cân bằng thì tổng hợp ba lực do ba điện tích đó tác dụng lên q_4 phải bằng không. Bởi vì ba điện tích đó bằng nhau nên muốn cho hợp lực bằng không, điện tích q_4 phải đặt tại điểm O cách đều ba đỉnh A, B, C của tam giác nghĩa là nằm tại trọng tâm của tam giác (Hình 4.29); khi đó ba lực do ba điện tích q_1, q_2, q_3 đặt tại ba đỉnh A, B, C sẽ có hướng làm với nhau một góc bằng 120° và có độ lớn bằng nhau, do đó hợp lực của chúng luôn luôn bằng không với mọi độ lớn và dấu của điện tích q_4 . Nhưng muốn cho các điện tích q_1, q_2, q_3 đặt tại A, B, C cũng lại nằm cân bằng (hệ bốn điện tích nằm cân bằng) thì điện tích q_4 phải có độ lớn và dấu sao cho hợp lực của các lực điện do q_4 và do hai điện tích đặt tại hai đỉnh bất kỳ A và B chẳng hạn, tác dụng lên điện tích đặt tại đỉnh thứ ba C, cũng bằng không. Muốn vậy điện tích q_4 phải thỏa mãn điều kiện sau đây: q_4 phải là điện tích âm, và độ lớn của lực điện do q_4 tác dụng lên một trong số các điện tích q_1, q_2, q_3 phải cân bằng với độ lớn của lực F đã xét ở câu a: $F_{43} = F$ (như vậy sẽ đảm bảo được là $\vec{F} + \vec{F} + \vec{F}_{43} = 0$) chẳng hạn.

Như vậy ta phải có :

$$k \frac{|q_1|q_2}{OC^2} = k \frac{q^2}{a^2} \sqrt{3}, \quad \text{với } OC = CH \cdot \frac{2}{3} = \frac{a\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{2}{3} = \frac{a\sqrt{3}}{3}$$

$$\text{Từ đó suy ra : } \frac{|q_4|}{(\frac{a\sqrt{3}}{2})^2} = \frac{q}{a^2} \sqrt{3}, \quad |q_4| = q \frac{\sqrt{3}}{3} = 1,15 \cdot 10^{-7} \text{C}$$

Vậy muốn cho hệ bốn điện tích nằm cân bằng thì điện tích q_4 phải đặt tại trọng tâm O của tam giác ABC và có độ lớn bằng $q_4 = -1,15 \cdot 10^{-7} \text{C}$

4.5. Lập luận tương tự như ở thí dụ 3: góc lệch α của dây treo được xác định bằng hệ thức (suy từ điều kiện cân bằng của hai quả cầu):

$$\tan \alpha = \frac{F_d}{P}$$

Với $F_d = k \frac{q_1 q_2}{a^2}$. Như vậy $\tan \alpha = \frac{kq^2}{mga^2}$

Thay số ta được $\tan \alpha = 1$, suy ra $\alpha = 45^\circ$

4.6. a) Lập luận tương tự ở thí dụ 3. Ở đây điện tích của mỗi quả cầu bằng $\frac{q}{2}$ (vì hai quả cầu giống nhau). Ta có công thức tính góc lệch α :

$$\tan \alpha = \frac{F_d}{P} = \frac{k(\frac{q}{2})^2}{mga^2} \quad (1)$$

Vì góc lệch α rất nhỏ nên $\tan \alpha \approx \sin \alpha \approx \frac{a}{2l} = \frac{a}{2l} \quad (2)$

Từ (1) và (2) ta có : $\frac{a}{2l} = \frac{kq^2}{4mga^2}$ suy ra : $a^3 = \frac{kq^2 l}{2mg}$

Thay số ta được : $a = 6 \cdot 10^{-2} \text{m} = 6 \text{cm}$.

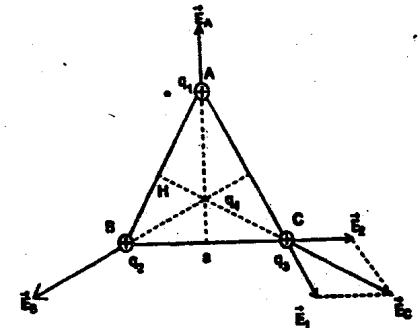
b) Khi một trong hai quả cầu bị mất hết điện tích, không có lực điện tương tác giữa hai quả cầu, do đó chúng trở về vị trí cân bằng theo phương thẳng đứng (dây treo không bị lệch) và tại đó chúng chạm vào nhau. Khi đó điện tích của quả cầu kia (bằng $\frac{q}{2}$) lại được phân bố lại cho cả hai

quả cầu, và do đó mỗi quả cầu sẽ có điện tích bằng $\frac{q}{4}$:

hai quả cầu lại đẩy nhau ra xa, và khoảng cách giữa chúng bây giờ là b . Lập luận hoàn toàn tương tự như trên, với chú ý rằng điện tích của mỗi quả cầu bây giờ là $\frac{q}{4}$, ta sẽ được:

$$b^3 = \frac{kq^2 l}{8mg} = \frac{a^3}{4} \rightarrow b = (54)^{1/3} \approx 3,75 \text{cm}$$

4.7. a) Vì ba điện tích đặt tại A, B, C bằng nhau và cách đều nhau, nên chỉ cần xét cường độ điện trường tổng hợp do hai điện tích, q_1 và q_2 chẳng hạn, gây ra tại C và sau đó suy ra kết quả tương tự cho cường độ điện trường tổng hợp tại A và B.



Hình 4.30

Gọi $\vec{E}_1, \vec{E}_2$ là các cường độ điện trường do q_1, q_2 đặt tại A và B gây ra tại C,

cường độ điện trường tổng hợp tại C là $\vec{E}_C = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$.

Áp dụng công thức tính cường độ điện trường ta được:

$$E_1 = E_2 = k \frac{q}{a^2}$$

Do đó véc tơ $\vec{E}_C$ tại C có phương vuông góc với AB (trùng với phương của đường phân giác của góc hợp bởi $\vec{E}_1, \vec{E}_2$), có chiều hướng ra xa AB và theo hình 4.30, có độ lớn:

$$E_C = 2E_1 \cos 30^\circ = E_1 \sqrt{3}$$

$$E_C = k \frac{q}{a^2} \sqrt{3}$$

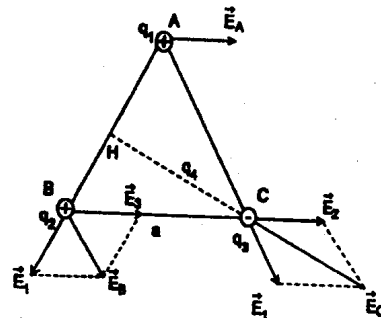
Thay số ta được: $E_C = 3,46 \cdot 10^6 \text{ V/m}$

Tương tự, véc tơ cường độ điện trường tổng hợp $\vec{E}_A$ tại A có phương vuông góc với BC, có chiều hướng ra xa BC, và có độ lớn $E_A = 3,46 \cdot 10^6 \text{ V/m}$; véc tơ cường độ dòng điện trường tổng hợp $\vec{E}_B$ tại B có phương vuông góc với AC, có chiều hướng ra xa AC, và có độ lớn $E_B = 3,46 \cdot 10^6 \text{ V/m}$.

b) Vì các điện tích q_1 và q_2 đặt tại A và B vẫn giữ nguyên như ở câu a cho nên véc tơ cường độ điện trường $\vec{E}_C$ có điểm đặt tại C, có phương vuông góc với AB, có chiều hướng ra xa AB và có độ lớn:

$$E_C = 3,46 \cdot 10^6 \text{ V/m}.$$

Ta tính $\vec{E}_B$. Gọi $\vec{E}_1$ và $\vec{E}_3$ là các véc tơ cường độ điện trường do các điện tích q_1 và q_3 gây ra tại B, ta có $\vec{E}_B = \vec{E}_1 + \vec{E}_3$. Mặt khác $E_1 = E_3 = k \frac{q}{a^2}$. Từ hình 4.31



Hình 4.31

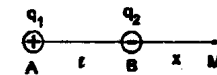
ta thấy véc tơ $\vec{E}_B$ có điểm đặt tại B, có phương làm với BC một góc 60° (nghĩa là song song với AC) có chiều như hình vẽ và có độ lớn:

$$E_B = 2 E_1 \cos 60^\circ = k \frac{q}{a^2} = 2 \cdot 10^6 \text{ V/m}.$$

Tương tự, véc tơ cường độ điện trường $\vec{E}_A$ tại A do q_2 và q_3 gây ra có điểm đặt tại A, có phương song song với BC, có chiều như hình vẽ và có độ lớn:

$$E_A = 2 \cdot 10^6 \text{ V/m}.$$

4.8. Gọi $\vec{E}_1, \vec{E}_2$ là các véc tơ cường độ điện trường do các điện tích q_1 và q_2 gây ra tại điểm M, cường độ điện trường tổng hợp tại M bằng: $\vec{E}_M = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$



Hình 4.32

Muốn cho cường độ điện trường tại M bằng không ($\vec{E}_M = 0$) thì hai véc tơ $\vec{E}_1$ và $\vec{E}_2$ phải là hai véc tơ trực đối, nghĩa là chúng phải có tính chất:

- Cùng phương $\rightarrow$ điểm M phải nằm trên đường thẳng AB.
- Ngược hướng $\rightarrow$ điểm M phải nằm ngoài đoạn AB (vì q_1 và q_2 ngược dấu).
- Có độ lớn bằng nhau: $E_1 = E_2 \rightarrow$ điểm M phải nằm ở phía bên phải điểm B vì $|q_1| > |q_2|$ và ta có:

$$k \frac{|q_2|}{x^2} = k \frac{q_1}{(1+x)^2}, \quad (\text{đặt } MB = x)$$

$$\text{Từ đó: } (1+x)^2 = 4x^2 \rightarrow x = 1 = 5 \text{ cm}.$$

Vậy điểm M, mà tại đó cường độ điện trường bằng không, nằm trên đường thẳng AB, ở bên phải điểm B và cách B một đoạn 5 cm.

4.9. Vì điện tích phân bố đều trên mặt phẳng, nên dễ dàng nhận xét rằng véc tơ

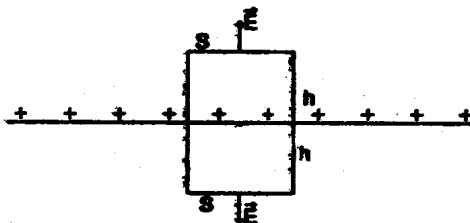
cường độ điện trường $\vec{E}$ gây bởi các điện tích trên mặt phẳng chỉ có thể có phương vuông góc với mặt phẳng. Mặt khác cường độ điện trường có độ lớn như nhau tại những điểm cách đều mặt phẳng về mỗi phía.

Hơn nữa hai nửa không gian bị phân chia bởi mặt phẳng phải đối xứng nhau, do đó véc tơ cường độ điện trường ở hai phía mặt phẳng phải: hoặc cùng hướng ra xa mặt phẳng (nếu mặt phẳng tích điện dương), hoặc cùng hướng về mặt phẳng (nếu mặt phẳng tích điện âm). Để tìm độ lớn của cường độ điện trường ta áp dụng định lí Ôstrogradski – Gaoxo. Ta chọn mặt kín S là một mặt trụ, có hai đáy song song, cách đều mặt phẳng một khoảng (xem hình 4.33), có diện tích S_0 và mặt xung quanh hình trụ vuông góc với mặt phẳng. Điện thông qua mặt

xung quanh bằng không về véc tơ $\vec{E}$ vuông góc với pháp tuyến của mặt này. Điện thông toàn phần N qua mặt kín S bằng điện thông qua hai đáy, nghĩa là $N = ES_0 + ES_0 = 2ES_0$. Theo định lí Ôstrogradski – Gaoxo, điện thông này bằng điện tích có trong mặt kín S chia cho ϵ_0 :

$$N = 2ES_0 = \frac{\sigma S_0}{\epsilon_0} \quad (\text{vì mật độ là } \sigma)$$

Do đó $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$. Ta thấy rằng độ lớn của cường độ điện trường không phụ thuộc vào khoảng cách đến mặt phẳng. Mặt khác, các véc tơ $\vec{E}$ tại các điểm khác nhau song song



Hình 4.33

với nhau. Như vậy điện trường ở mỗi nửa không gian hai phía mặt phẳng là điện trường đều.

Vậy véc tơ cường độ điện trường gây bởi mặt phẳng tích điện có độ lớn $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$, có phương vuông góc với mặt phẳng; có chiều hướng ra xa mặt phẳng nếu mật độ điện tích mặt $\sigma > 0$, hướng về phía mặt phẳng nếu $\sigma < 0$.

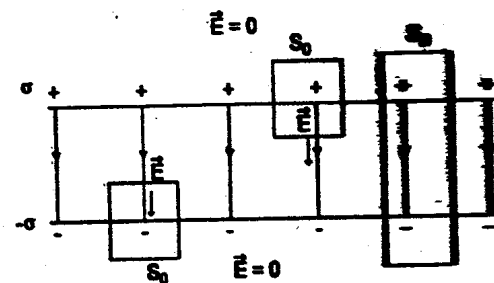
4.10. Áp dụng định lí

Ôstrogradski – Gaoxo.

Tiến hành lập luận và tính toán như ở bài 4.9.

Các véc tơ $\vec{E}$ đều có phương vuông góc với mặt phẳng, ở khoảng giữa 2

mặt phẳng véc tơ $\vec{E}$ có chiều từ mặt phẳng tích điện dương sang mặt phẳng tích điện âm.



Hình 4.34

Chọn các mặt kín là các mặt trụ như trên hình 4.34. Kết quả cho thấy, đối với điện trường ở bên ngoài hệ (hai phía

của hai mặt phẳng), ta có: $2ES_0 = 0 \rightarrow E = 0$, như vậy $\vec{E} = 0$. Còn đối với điện trường ở giữa hai mặt phẳng ta có:

$$ES_0 = \frac{\sigma S_0}{\epsilon_0}, \text{ nghĩa là } E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}.$$

Vậy véc tơ cường độ điện trường ở trong khoảng giữa hai mặt phẳng tích điện trái dấu có độ lớn $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$, có phương vuông góc với hai mặt phẳng; có chiều từ mặt phẳng tích điện dương sang mặt phẳng tích điện âm.

Ghi chú: Cách khác: Dựa vào kết quả ở bài 4.9 mà áp dụng nguyên lí chồng chất điện trường.

4.11. a) Điện thế tại một điểm (O hoặc C) là tổng hợp của hai điện thế do hai điện tích q_1 và q_2 gây ra.

Điện thế tại C là:

$$V_C = V_{1C} + V_{2C} = k \frac{q_1}{AC} + k \frac{q_2}{BC}$$

Ta có: $BC = \sqrt{AB^2 + AC^2} = 5 \text{ cm.}$

Thay số: $k = 9 \cdot 10^9 \text{ đv SJ}$; $q_1 = 5 \cdot 10^{-9} \text{ C}$; $q_2 = -5 \cdot 10^{-9} \text{ C}$;
 $AC = 3 \text{ cm} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ m}$; $BC = 5 \text{ cm} = 5 \cdot 10^{-2}$, ta được
 $V_C = 600 \text{ V.}$

Điện thế tại O là:

$$V_O = V_{1O} + V_{2O} = k \frac{q_1}{AO} + k \frac{q_1}{BO}$$

Vì $AO = BO$ và $q_1 = -q_2$ nên $V_O = 0$.

b) Công của lực điện trường khi điện tích q_3 dịch chuyển từ O đến C không phụ thuộc vào hình dạng đường đi của q_3 :

$$A_{OC} = q_3 (V_O - V_C) = -10^{-9} (0 - 600) = 6 \cdot 10^{-7} \text{ J.}$$

4.12. Quả cầu kim loại cô lập là một vật đẳng thế, điện tích của quả cầu chỉ phân bố ở bề mặt quả cầu. Điện thế của quả cầu được tính theo công thức $V = k \frac{q}{r}$ khi nối hai quả cầu bằng dây dẫn, các điện tích sẽ di chuyển từ quả cầu nọ sang quả cầu kia nếu điện thế hai quả cầu khác nhau. Điện tích dương di chuyển từ nơi có điện thế cao sang nơi có điện thế thấp. Ở đây electron (mang điện tích âm) sẽ di chuyển từ quả cầu có điện thế thấp sang quả cầu có điện thế cao. Điện thế của hai quả cầu 1 và 2 là:

$$V_1 = k \frac{q_1}{r_1}, \quad V_2 = k \frac{q_2}{r_2}$$

a) Vì $r_1 > r_2$ và $q_1 = q_2$ nên $V_1 < V_2$ electron di chuyển từ quả cầu 1 sang quả cầu 2.

b) Vì $V_1 = V_2$ nên các electron không di chuyển, hơn nữa q_1 và q_2 cùng dấu. Mặt khác $r_1 > r_2$, nên từ: $k \frac{q_1}{r_2} = k \frac{q_2}{r_1}$ ta suy ra: $|q_1| > |q_2|$.

c) Vì $q_1 > 0$, $q_2 < 0$ nên $V_1 > 0$, và $V_2 < 0$ nghĩa là $V_1 > V_2$: electron sẽ di chuyển từ quả cầu 2 sang quả cầu 1.

Chú ý: Trong mọi trường hợp electron chỉ di chuyển cho đến khi nào điện thế hai quả cầu trở thành bằng nhau thì ngừng, không di chuyển nữa.

4.13. Vì $\vec{E}_1$ hướng từ A đến B, ta có $U_{AB} = V_A - V_B = E_1 d_1$.

$$\text{Suy ra } V_B = V_A - E_1 d_1 = 0 - 8 \cdot 10^4 \cdot 2,5 \cdot 10^{-2} = -2000 \text{ V.}$$

Vì $\vec{E}_2$ hướng từ C đến B, ta có $U_{CB} = V_C - V_B = E_2 d_2$.

$$\text{Suy ra } V_C = V_B + E_2 d_2 = -2000 + 10^5 \cdot 4 \cdot 10^{-2} = 2000 \text{ V.}$$

4.14. Giải tương tự như ở bài 4.13. Cường độ điện trường tổng hợp tại A bao gồm $\vec{E}_0$ và cường độ điện trường $\vec{E}$ do q gây ra tại A: $\vec{E}_A = \vec{E}_0 + \vec{E}$.

Phép tính cho ta:

$$\text{a) } U_{AB} = 0; \quad U_{CA} = 120 \text{ V}; \quad E = 4000 \text{ V/m.}$$

$$\text{b) } E_A = 5000 \text{ V/m.}$$

$$\text{4.15. } E = \frac{U}{d} = 10800 \text{ V/m}; \quad Q = 3 \cdot 10^{-9} \text{ C};$$

$$W \approx 1,75 \cdot 10^{-5} \text{ J.}$$

4.16. a) Dễ dàng thấy rằng tụ xoay đó gồm 10 tụ điện phẳng ghép song song (số tụ = số bản cực - 1). Mỗi tụ thành phần có điện dung bằng:

$$C_1 = \frac{\epsilon S}{4 \pi k \cdot d} = \frac{1}{72} \cdot 10^{-9} \text{ F}$$

Điện dung (cực đại) của tụ xoay bằng:

$$C = 10 C_1 = \frac{1}{72} \cdot 10^{-9} \text{ F} \approx 1,4 \cdot 10^{-11} \text{ F} = 14 \text{ pF}.$$

b) Điện tích của tụ xoay:

$$Q = CU = \frac{1}{72} \cdot 10^{-9} \cdot 36 = 0,5 \cdot 10^{-9} \text{ C}.$$

c) Gọi $C' = 2 \text{ pF}$ là điện dung của tụ xoay mới, ta tính số tụ ghép song song trong bộ tụ này:

$$N = \frac{C'}{C_1} = \frac{25 \cdot 10^{-12}}{\frac{1}{72} \cdot 10^{-10}} = 18 \text{ tụ}$$

Vậy số bản cực của tụ xoay này bằng:

$$N_b = N + 1 = 18 + 1 = 19 \text{ bản}.$$

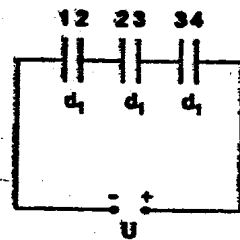
Như vậy cần phải ghép thêm vào tụ xoay cũ một số bản cực bằng:

$$19 - 11 = 8 \text{ bản cực}.$$

4.17. a) Các bản hợp thành một hệ gồm ba tụ điện mắc nối tiếp nhau, trong đó các bản 2 và 3 là chung cho hai tụ điện (Hình 4.40). Vì khoảng cách giữa các bản kế tiếp bằng nhau và bằng $d_1 = \frac{d}{3} = 1 \text{ cm}$,

cho nên ba tụ điện đó có điện dung bằng nhau và bằng:

$$C_0 = \frac{S}{4\pi k d_1}$$



Hình 4.40

Điện dung của bộ tụ là $C_b = \frac{C_0}{3}$, và điện tích của bộ tụ

là $Q_b = C_b U = \frac{C_0 U}{3}$. Đây cũng là điện tích của mỗi tụ:

$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_b$. Từ đó (chọn $V_1 = 0$) ta có:

$$V_4 - V_3 = \frac{Q_3}{C_0} = \frac{U}{3} = 12 \text{ V};$$

$$V_3 - V_2 = \frac{Q_2}{C_0} = \frac{U}{3} = 12 \text{ V} \quad \text{và}$$

$$V_2 - V_1 = \frac{Q_1}{C_0} = \frac{U}{3} = 12 \text{ V}.$$

$$\text{Suy ra: } V_2 = \frac{U}{3} = 12 \text{ V}; \quad V_3 = 2 \frac{U}{3} = 24 \text{ V}$$

$$\text{và} \quad V_4 = U = 36 \text{ V}.$$

b) Khi nối bản 2 và bản 3 bằng một dây dẫn, các bản lại tạo thành hệ gồm 2 tụ điện có cùng điện dung C_0 mắc nối tiếp. Lập luận tương tự như trên ta có: Điện dung của bộ tụ là $\frac{C}{2}$, và

$$V_1 = 0; \quad V_2 = V_3 = \frac{U}{2} = 18 \text{ V}; \quad V_4 = U = 36 \text{ V}.$$

Cường độ điện trường giữa hai bản 1 và 2 và giữa hai bản 3 và 4 bằng nhau và bằng $E = \frac{U}{2d} = 1800 \text{ V/m}$, còn điện trường giữa hai bản 2 và 3 hiển nhiên là bằng không.

Điện tích của bộ tụ bây giờ là $Q'_b = \frac{C}{2} U$. Đó cũng chính là độ lớn của điện tích trên các bản, trong đó bản 2 và bản 4 tích điện dương, còn bản 3 và bản 1 tích điện âm. So với lúc trước điện tích trên các bản tụ điện (1 và 4) tăng lên.

$$\frac{Q'_b}{Q_b} = \frac{\frac{C_0 U}{2}}{\frac{C_0 U}{3}} = 1,5 \text{ lần.}$$

4.18. Ta có $U_1 = U_{DE} = \frac{q_1}{C_1} = 12 \text{ V}$;

từ đó $U_2 = U_3 = U_1 = 12 \text{ V}$.

$$q_2 = C_2 U_2 = 72 \mu\text{C}; \quad q_3 = C_3 U_3 = 48 \mu\text{C}.$$

Vì C_4 nt ($C_1 // C_2 // C_3$) nên $q_4 = q_1 + q_2 + q_3 = 144 \mu\text{C}$.

và do đó: $U_4 = U_{AD} = \frac{q_4}{C_4} = 24 \text{ V}$.

Ta có: $U_{AE} = U_{AD} + U_{DE} = 36 \text{ V}$. Từ đó:

$$U_5 = 36 \text{ V} \text{ và } q_5 = C_5 U_5 = 288 \mu\text{C}.$$

Vì $C_5 // [C_4 \text{ nt } (C_1 // C_2 // C_3)]$ nên $q_{AE} = q_4 + q_5 = 432 \mu\text{C}$,

và do đó $q_6 = q_{AE} = 432 \mu\text{C}$, và $U_6 = \frac{q_6}{C_6} = 72 \text{ V}$.

4.19. Mạch tụ điện trên có thể vẽ lại như ở hình 4.43. Vì điện dung các tụ bằng nhau nên mạch tụ gồm C_1, C_2, C_5, C_6 và C_3 có tính chất đối xứng; suy ra: $U_1 = U_5$; $U_1 = U_6$ và $U_3 = 0$ nghĩa là $q_3 = 0$ (điện thế tại hai điểm D và F bằng nhau và mạch cầu gồm các tụ C_1, C_2, C_5, C_6 và C_3 là mạch cầu tụ điện cân bằng). Tụ điện C_3 không tích điện, có thể xem nó như một khoá K để mở.

Như vậy hệ tụ được mắc theo sơ đồ sau:

$$C_4 // (C_2 \text{ nt } C_5) // (C_1 \text{ nt } C_6).$$

Ta có: $C_{25} = \frac{C_2 C_5}{C_2 + C_5} = \frac{C}{2}$

$$C_{16} = \frac{C_1 C_6}{C_1 + C_6} = \frac{C}{2}$$

Vậy điện dung của cả mạch tụ bằng:

$$C_{\text{mạch}} = C + \frac{C}{2} + \frac{C}{2} = 2C = 8 \mu\text{F}.$$

Ta có $U_4 = U = 220 \text{ V}$

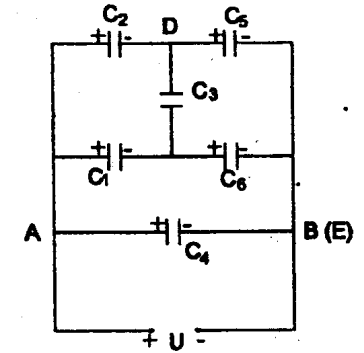
$$q_4 = C_4 U_4 = 8,8 \cdot 10^{-4} \text{ C}.$$

$$Q_2 = Q_5 = C_{25} U = 4,4 \cdot 10^{-4} \text{ C};$$

$$U_2 = U_5 = \frac{q_2}{C_2} = \frac{U}{2} = 110 \text{ V}.$$

$$Q_2 = Q_6 = C_{16} U = 4,4 \cdot 10^{-4} \text{ C};$$

$$U_1 = U_6 = \frac{Q_1}{C_1} = 110 \text{ V}.$$



Hình 4.43

Ghi chú: Mạch tụ gồm năm tụ điện mắc theo sơ đồ như ở hình 4.44 gọi là mạch cầu tụ điện (ở bài 4.19 các tụ điện C_1, C_2, C_5, C_6, C_3 mắc thành mạch cầu). Nếu khi mắc vào nguồn điện mà $Q_5 = 0$ hay $V_C = V_D$ ($U_5 = 0$)

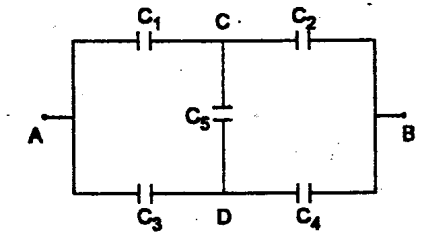
thì ta có mạch cầu tụ điện cân bằng. Khi đó ta có hệ thức:

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{C_3}{C_4} \quad (2)$$

Và ngược lại nếu ta có:

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{C_3}{C_4} \text{ thì } Q_5 = 0$$

(hoặc $U_5 = 0, V_C = V_D$).



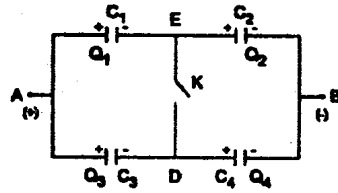
Hình 4.44

Có thể chứng minh điều đó, nếu chú ý rằng, khi đó $Q_1 = Q_2, Q_3 = Q_4$ và $U_1 = U_3, U_2 = U_4$. Trường hợp mạch cầu xét trong bài toán là trường hợp đặc biệt, vì $C_1 = C_2 = C_3 = C_6$, nghĩa là hiển nhiên ta có: $\frac{C_1}{C_2} = \frac{C_6}{C_5}$

4.20. a) Khi K mở, hệ tụ điện mắc theo sơ đồ sau:
(C_1 nt C_2) // (C_3 nt C_4). Ta có

$$C_{12} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = 1 \mu\text{F};$$

$$C_{34} = \frac{C_3 C_4}{C_3 + C_4} = 1 \mu\text{F}.$$



Hình 4.45

Vì ban đầu các tụ điện chưa tích điện nên:

$$Q_{12} = Q_1 = Q_2 = C_{12} \cdot U = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ C};$$

$$Q_{34} = Q_3 = Q_4 = C_{34} \cdot U = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ C};$$

Từ đó: $U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = 8 \text{ V};$

$$U_2 = \frac{Q_2}{C_2} = 16 \text{ V}; U_3 = \frac{Q_3}{C_3} = 16 \text{ V}; U_4 = \frac{Q_4}{C_4} = 8 \text{ V}.$$

b) Hệ tụ được mắc theo sơ đồ (xem hình 4.48)

(C_1 // C_3) nt (C_2 // C_4).

Ta có:

$$C_{13} = C_1 + C_3 = 4,5 \mu\text{F};$$

$$C_{24} = C_2 + C_4 = 4,5 \mu\text{F}.$$

Vì $C_{13} = C_{24}$ nên

$$U_{13} = U_{24} = \frac{U_{AB}}{2} = 12 \text{ V},$$

suy ra: $U'_1 = U'_3 = U'_2 = U'_4 = 12 \text{ V}.$

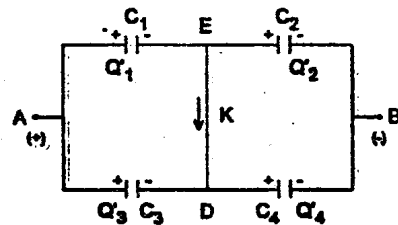
Từ đó:

$$Q'_1 = C_1 U'_1 = 3,6 \cdot 10^{-5} \text{ C};$$

$$Q'_2 = C_2 U'_2 = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ C};$$

$$Q'_3 = C_3 U'_3 = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ C};$$

$$Q'_4 = C_4 U'_4 = 3,6 \cdot 10^{-5} \text{ C}.$$



Hình 4.46

Dấu của điện tích trên các bản cực của các tụ điện được vẽ trên hình 4.46.

Để tính điện lượng chuyển qua K, ta xét tổng điện tích Q và Q' trên các bản tụ nối với điểm E lúc đầu và sau khi đóng K.

Lúc đầu ta có: $Q = -Q_1 + Q_2 = 0$

Sau khi đóng K: $Q' = -Q'_1 + Q'_2 = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ C}.$

Như vậy sau khi đóng K đã có một lượng điện tích bằng:

$$\Delta Q = Q' - Q = -1,8 \cdot 10^{-5} \text{ C}$$

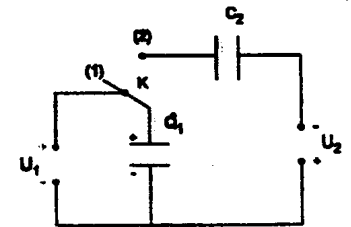
chuyển từ D đến E, làm thay đổi điện tích các tụ điện (điện tích dương chuyển theo chiều ngược lại, nhưng dĩ nhiên ở đây là các electron mang điện tích âm di chuyển).

4.21. a) Đóng K vào chốt (1) thì tụ điện C_1 được tích điện như ở hình 4.47.

Ta có $Q_1 = C_1 U_1 = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ C};$

$$Q_2 = 0$$

b) Chuyển K sang chốt (2); bây giờ tụ điện C_1 được mắc nối tiếp với tụ điện C_2 (Hình 4.48) và lưu ý rằng ban đầu C_1 đã được tích điện (điện tích Q_1).



Hình 4.47

Giả sử bây giờ điện tích phân bố trên các bản của các tụ điện như trên hình 4.48. Vì bây giờ hai tụ mắc nối tiếp nên ta có:

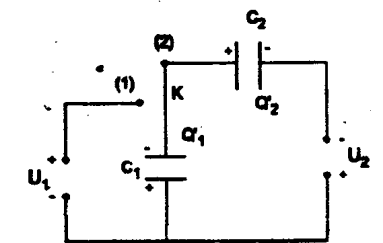
$$U'_1 + U'_2 = U_2 = 40 \quad (1)$$

Áp dụng định luật bảo toàn điện tích cho hệ hai bản cực của C_1 và C_2 nối với chốt (2), ta có:

$$-Q'_1 + Q'_2 = Q_1,$$

$$\text{hay } -C_1 U'_1 + C_2 U'_2 = Q_1$$

$$= 2,5 \cdot 10^{-6} \quad (2)$$



Hình 4.48

Thay giá trị của C_1 và C_2 vào (2) và giải hệ hai phương trình (1) và (2) ta được $U'_1 = 25 \text{ V}$; $U'_2 = 15 \text{ V}$. Ta thấy U'_1 và U'_2 đều có giá trị dương, vậy dấu của điện tích trên các bản tụ điện như đã giả định là đúng.

Ta có: $Q'_1 = C_1 U'_1 = 1.25 \cdot 10^{-5} \text{ C}$; $Q'_2 = C_2 U'_2 = -1.5 \cdot 10^{-5} \text{ C}$.

Để tính điện lượng chuyển qua K, ta xét điện tích của bản tụ điện của C_1 nối với K, lúc trước và sau khi K đóng vào chốt (2). Lúc đầu điện tích của bản đó là: $-Q_1 = 2.5 \cdot 10^{-6} \text{ C} > 0$. Lúc sau điện tích của nó là: $-Q'_1 = -1.25 \cdot 10^{-5} \text{ C} < 0$.

Vậy lượng điện tích âm đã chuyển đến bản đó sau khi K đóng vào chốt (2) bằng: $(-Q'_1) - (-Q_1) = 1.5 \cdot 10^{-5} \text{ C}$.

Ghi chú: Lượng điện tích trên được chuyển đến từ bản của C_2 nối với chốt (2), nhờ đó bản này tích điện $+1.5 \cdot 10^{-5} \text{ C}$. Cũng có thể tìm được điện lượng chuyển qua K bằng cách xét điện tích trên bản đó lúc đầu và sau khi K đóng vào chốt (2).

4.22. Năng lượng của tia lửa điện phát ra bằng độ giảm năng lượng của hệ hai tụ C_1 , C_2 khi mắc chúng song song với nhau. Ban đầu năng lượng W của hệ tụ chỉ là năng lượng của tụ C_1 được tích điện (vì C_2 chưa được tích điện):

$W = \frac{1}{2} C_1 U_2^2 = 1.62 \cdot 10^{-2} \text{ J}$. Gọi U' là hiệu điện thế của hai tụ sau khi nối với nhau. Theo định luật bảo toàn điện tích:

$$Q'_1 + Q'_2 = Q_1$$

$$\text{hay } C_1 U' + C_2 U' = C_1 U_2$$

Thay số ta được: $U' = 100 \text{ V}$.

Năng lượng W' của hệ tụ C_1 , C_2 sau khi nối với nhau:

$$W' = \frac{1}{2} C_1 U'^2 + \frac{1}{2} C_2 U'^2 = 9 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

Năng lượng của tia lửa điện bằng:

$$W - W' = 7.2 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

4.23. a) Tụ điện vẫn nối với nguồn (U không đổi).

Năng lượng ban đầu của tụ $W = \frac{1}{2} C U^2$.

Khi khoảng cách các bản thay đổi, điện dung của tụ là:

$$C' = \frac{S}{4\pi k d'} = 3 \frac{S}{4\pi k d} = 3 C$$

Năng lượng lúc sau của tụ: $W' = \frac{1}{2} C' U^2 = 3 W$:

Năng lượng của tụ tăng lên gấp ba.

b) Tụ điện ngắt khỏi nguồn (Q không đổi)

Năng lượng ban đầu của tụ: $W = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$

Năng lượng lúc sau: $W' = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C'} = \frac{W}{3}$:

Năng lượng của tụ giảm đi còn một phần ba.

4.24. Lập luận và tính toán như ở thí dụ 14.

Phương trình chuyển động của electron:

$$x = v_0 \cos \alpha \cdot t \quad (1); \quad y = (v_0 \sin \alpha) t - \frac{at^2}{2}, \quad a = \frac{eU}{md} \quad (2)$$

$$v_y = (v_0 \sin \alpha) - at \quad (3)$$

Điều kiện để cho electron rời tụ theo phương song song với các bản là:

$$v_y = 0 \text{ khi } x = l. \text{ Từ (1), (2) và (3) ta suy ra } t = \frac{l}{v_0 \cos \alpha}$$

$$v_y = v_0 \sin \alpha - \frac{eU}{md} \frac{l}{v_0 \cos \alpha} = 0$$

$$\text{Từ đó } \frac{mv_0^2}{2} \sin 2\alpha = \frac{eUl}{d} = W_0 \sin 2\alpha$$

$$\rightarrow U = \frac{W_0 \cdot \sin 2\alpha \cdot d}{e l}$$

(Với $W_0 = \frac{mv_0^2}{2}$ là động năng ban đầu của electron).

Thay số (chú ý $1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{J}$) ta được $U \approx 260 \text{V}$.
519,6V

4.25. Ban đầu giọt thủy ngân nằm lơ lửng (cân bằng), trọng lực $P = mg$ của giọt thủy ngân cân bằng với lực điện trường $F = qE$ tác dụng lên nó:

$$mg = qE = q \frac{U}{d} \quad (1)$$

(q là điện tích của giọt thủy ngân).

Khi hiệu điện thế giảm xuống, chỉ còn U' , lực điện trường không đủ để cân bằng với trọng lực của giọt thủy ngân, và khi đó giọt thủy ngân chịu tác dụng của hợp lực $F = mg - qE' = mg - q \frac{U'}{d}$ hướng thẳng đứng xuống dưới.

Giọt thủy ngân sẽ rơi xuống bản dưới với gia tốc.

$$a = \frac{F}{m} = g \frac{q}{m} \frac{U'}{d}$$

Từ (1) ta có $\frac{q}{m} = \frac{gd}{U}$. Thay vào (2) ta có $a = g \left(1 - \frac{U'}{U}\right)$

Phương trình chuyển động của giọt thủy ngân $s = \frac{at^2}{2}$

Thay vào đó $s = \frac{d}{2}$ ta tìm được khoảng thời gian sau đó giọt thủy ngân rơi xuống đến bản dưới:

$$t = \sqrt{\frac{d}{a}} = \sqrt{\frac{d}{g \left(1 - \frac{U'}{U}\right)}} \approx 0,64 \text{ s}$$

4.26. Điện tích của hạt bụi: $Q = -1000 e = -1,6 \cdot 10^{-16} \text{C}$.

Áp dụng định luật bảo toàn năng lượng, tương tự như ở thí dụ 15. Khoảng cách nhỏ nhất OM của electron tới hạt bụi tương ứng với vị trí M và tại đó vận tốc của electron giảm đến bằng 0. Năng lượng của electron khi nó ở rất xa hạt bụi:

$$E_\infty = \frac{mv_0^2}{2}. \text{ Năng lượng của electron khi nó ở điểm M bằng}$$

thế năng trong điện trường: $E_M = k \frac{eQ}{r}$, với $r = OM$

Theo định luật bảo toàn năng lượng: $E_\infty = E_M$, ta có:

$$\frac{mV_0^2}{2} = k \frac{eQ}{r}; \text{ suy ra } r = \frac{2keQ}{mV_0^2}$$

Thay số ta được $r \approx 5,1 \cdot 10^{-5} \text{m} \approx 0,051 \text{mm}$.

4.27. a) Vì hệ ba quả cầu có tính đối xứng, nên trong quá trình chúng dịch chuyển ra xa nhau, các quả cầu luôn luôn nằm tại ba đỉnh của tam giác đều có cạnh song song với các cạnh của tam giác đều ban đầu cạnh a . Mỗi quả cầu chuyển động trong điện trường của hai quả cầu kia. Xét chuyển động của một trong số ba quả cầu đó. Ban đầu năng lượng của quả cầu đó chỉ là thế năng trong điện trường.

$$E_1 = 2qV_0 = 2q \cdot \frac{kq}{a} = 2k \frac{q^2}{a}$$

Khi ba quả cầu cách nhau một khoảng r , năng lượng của quả cầu đó bao gồm động năng và thế năng trong điện trường.

$$E_2 = \frac{mV^2}{2} + 2qV = \frac{mV^2}{2} + 2k \frac{q^2}{r}$$

Áp dụng định luật bảo toàn năng lượng $E_1 = E_2$, ta có:

$$2k \frac{q^2}{a} = \frac{mV^2}{2} + 2k \frac{q^2}{r}$$

$$\text{Suy ra } V = 2q \sqrt{\frac{k(r-a)}{mra}}$$

Thay số ta được:

$$V \approx 8,94 \text{ m/s}$$

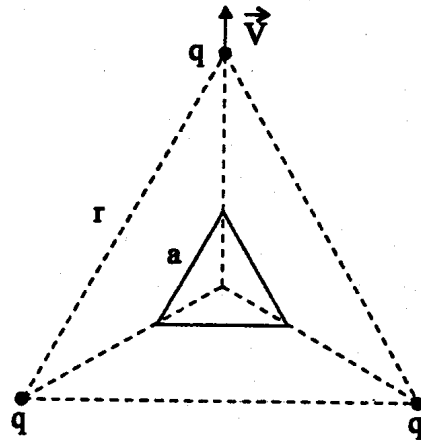
b) Khi một quả cầu dịch chuyển ra rất xa hai quả cầu kia, thì khi đó cả ba quả cầu ở rất xa nhau.

Do đó công của lực điện trường để làm cho mỗi quả cầu dịch chuyển ra rất xa hai quả cầu kia sẽ bằng:

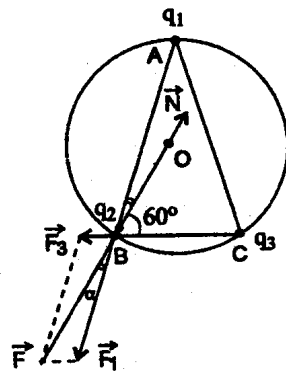
$$A = 3 \cdot q(V_0 - V_\infty) = 3qV_0 = \frac{6kq^2}{a} = 3,6 \cdot 10^{-2} \text{ J.}$$

4.28. Vì hai quả cầu q_2 và q_3 tích điện bằng nhau nên tam giác tạo bởi ba quả cầu là tam giác cân ABC (Hình 4.50).

Lực tương tác giữa các quả cầu là lực đẩy tĩnh. Quả cầu q_1 chịu tác dụng của hai lực điện do q_2 và q_3 tác dụng, hai lực này có cường độ bằng nhau, do đó lực điện tổng hợp tác dụng lên q_1 có phương đi qua tâm O của vành tròn và sẽ cân bằng với phản lực của vành, vì vậy q_1 luôn luôn có thể nằm cân bằng với mọi độ lớn của q_1, q_2 và q_3 . Ta chỉ cần xét điều kiện cân bằng của q_2 (hoặc q_3).



Hình 4.49



Hình 4.50

Gọi $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ và $\vec{N}$ là các lực điện do q_1 và q_3 tác dụng lên q_2 và phản lực của vành tròn, điều kiện cân bằng của q_2 là: $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{N} = 0$ hay $\vec{F}_1 + \vec{F}_3 = -\vec{N}$, nghĩa là hợp lực điện $\vec{F}_1 + \vec{F}_3 = \vec{F}$ phải trực đối với $\vec{N}$ (xem hình 4.50).

Như vậy $\vec{F}$ phải có phương đi qua tâm O của vành, và do đó góc

$\angle BAC = 30^\circ, \angle OCB = 60^\circ$ và $\alpha = 15^\circ$. Áp dụng hệ thức trong tam giác (xét tam giác tạo bởi $\vec{F}_1$ và $\vec{F}$) ta có:

$$\frac{F_1}{\sin 60^\circ} = \frac{F_3}{\sin \alpha} = \frac{F}{\sin 15^\circ}, \text{ với}$$

$$F_1 = k \frac{q_1 q_2}{AB^2} = k \frac{q_1 q_2}{\left(\frac{2R}{\cos \alpha}\right)^2}; \quad F_3 = k \frac{q_2 q_3}{BC^2} = k \frac{q_2^2}{R^2}$$

$$\text{Từ đó suy ra: } \frac{q_1}{q_2} \approx 12,5$$

4.29. Quả cầu B chịu tác dụng của bốn lực: các lực đẩy tĩnh điện $\vec{F}_1, \vec{F}_3$ do các quả cầu A và C tác dụng lên B), trọng lực $\vec{P}_2$ của B và phản lực $\vec{N}$ của P_1 , với

$$F_1 = k \frac{q_1 q_2}{r^2}; \quad F_3 = k \frac{q_3 q_2}{r^2}; \quad P_2 = m_2 g;$$

Muốn cho quả cầu B nằm cân bằng ta phải có: $\vec{F}_1 + \vec{F}_3 + \vec{P}_2 + \vec{N} = 0$. Chiếu lên phương song song với mặt phẳng P_1 , ta có:

$$F_1 + F_3 \cos \alpha = m_2 g \sin \alpha.$$

Suy ra:

$$\frac{5kq_2q_3}{2r^2} = m_2g\sqrt{3} \quad (1)$$

Lập luận và tính toán tương tự với quả cầu C, ta được:

$$\frac{3kq_3^2}{r^2} = m_3g\sqrt{3} \quad (2)$$

Từ (1) và (2) ta được:

$$\frac{m_3}{m_2} = \frac{3}{5};$$

$$\text{Từ đó } m_3 = \frac{3}{5} m_2 = 1,2 \text{ g}$$

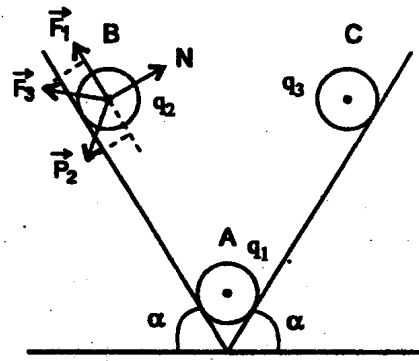
Từ (1) ta tìm được $r \approx 3,95 \text{ cm}$.

Khi cho r tăng, tức là cho một trong hai quả cầu B (hoặc C) lên cao hơn một chút, thì hai lực đẩy tĩnh điện $\vec{F}_1$ và $\vec{F}_3$ tác dụng lên B đều giảm và trọng lực $\vec{P}_2$ lại kéo chúng xuống, về vị trí ban đầu, còn nếu cho r giảm thì $\vec{F}_1$ và $\vec{F}_3$ lại tăng và đẩy quả cầu lên. Vậy cân bằng là bền.

4.30. Lập luận tương tự như ở thí dụ 3.

Khi hai quả cầu được đặt trong không khí, góc lệch α của dây treo so với phương thẳng đứng được tính theo công thức $\tan \alpha = \frac{F}{P}$ (1) với F là lực đẩy tĩnh điện giữa hai quả cầu, P là trọng lực của quả cầu: $P = DVg$ (D là khối lượng riêng, V là thể tích quả cầu).

Khi hai quả cầu được đặt trong điện môi lỏng, mỗi quả cầu chịu tác dụng của bốn lực: trọng lực P , lực đẩy tĩnh điện



Hình 4.51

$F' = \frac{F}{\epsilon}$ (ϵ là hằng số điện môi), lực căng T' của dây treo và lực đẩy Acsimet F_A (có phương thẳng đứng, ngược chiều với trọng lực và có độ lớn $F_A = D_1Vg$). Muốn cho quả cầu nằm cân bằng, phải có: $\vec{P} + \vec{F}' + \vec{T}' + \vec{F}_A = 0$. Vẽ hình minh họa tương tự như ở thí dụ 3, ta tìm được góc lệch α' của dây treo:

$$\tan \alpha' = \frac{F'}{P - F_A} \quad (2).$$

Theo yêu cầu của đề bài $\alpha' = \alpha$, suy ra:

$$\frac{F}{P} = \frac{F'}{P - F_A} = \frac{\frac{F}{\epsilon}}{P - F_A} \rightarrow \epsilon = \frac{P}{P - F_A} = \frac{D}{D - D_1}$$

$$\text{Từ đó } D = D_1 \frac{\epsilon}{\epsilon - 1}$$

Trường hợp điện môi là dầu hỏa thì $D = 1600 \text{ kg/m}^3$

Chú ý: Công thức $F' = \frac{F}{\epsilon}$ chỉ đúng khi các quả cầu được nhúng sâu vào trong khối điện môi, cách đủ xa bề mặt khối điện môi.

4.31. Lập luận tương tự như ở thí dụ 3. Xét điều kiện cân bằng của một quả cầu. Ở đây lực điện $\vec{F}$ tác dụng theo phương nằm ngang là tổng hợp của hai lực điện $\vec{F}_1$ và $\vec{F}_2$ do hai quả cầu kia gây ra. Dễ dàng thấy rằng (chú ý rằng $\vec{F}_1$ và $\vec{F}_2$ có độ lớn bằng nhau và hợp với nhau góc 60°), $\vec{F}$ có độ lớn: $F = 2F_1 \cos 30^\circ = F_1\sqrt{3} = k \frac{q^2}{a^2} \sqrt{3} \quad (1)$

Từ điều kiện cân bằng của quả cầu $\vec{P} + \vec{F} + \vec{T} = 0$, tương tự như ở thí dụ 3 ta suy ra $\tan \alpha = \frac{F}{P}$ (2) với α là góc lệch của dây treo so với phương thẳng đứng. Mặt khác dễ dàng thấy rằng:

$$\sin \alpha = \frac{\frac{2}{3} \cdot \frac{a\sqrt{3}}{2}}{1} \quad (3)$$

(đường thẳng đứng vẽ từ điểm treo sẽ đi qua trọng tâm của tam giác tạo thành bởi ba quả cầu)

Từ (1), (2) và (3) ta tìm được:

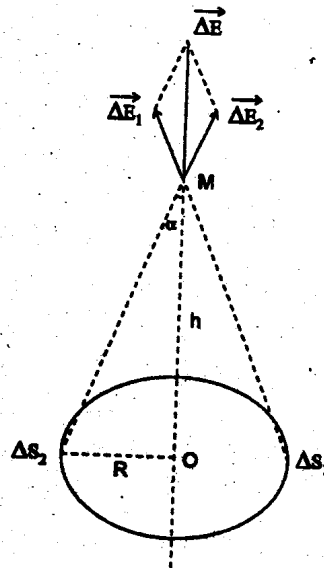
$$q = \left(\frac{a^3 mg}{k \sqrt{3(3l^2 - a^2)}} \right)^{1/2}$$

Thay số ta được $q \approx 6,1 \cdot 10^{-8} \text{ C}$

4.32. a) Chia vòng dây thành từng phần tử nhỏ, có độ dài Δs ($\Delta s \ll R$) sao cho mỗi phần tử nhỏ mang điện có thể coi như một điện tích điểm. Khi đó vòng dây được coi là một tập hợp các điện tích điểm, mỗi điện tích điểm này gây ra tại M một điện trường và điện trường tổng hợp do vòng dây gây ra được xác định nhờ nguyên lý chồng chất điện trường.

Gọi λ là mật độ điện dài trên vòng dây (điện tích trên một đơn vị chiều dài), ta có:

$$\lambda = \frac{q}{2\pi R}$$



Hình 4.52

Để cho cụ thể, giả sử $q > 0$. Phần tử Δs_1 mang điện tích Δq_1 ($\Delta q = \lambda \cdot \Delta s_1$) gây ra tại M một điện trường có cường độ $\Delta \vec{E}_1$ với phương, chiều như trên hình 4.52 và có độ lớn:

$$\Delta E_1 = k \cdot \frac{\Delta q_1}{(R^2 + h^2)} = k \frac{\lambda \cdot \Delta s_1}{(R^2 + h^2)}$$

Chú ý đến tính chất đối xứng của hình ta thấy có thể tìm được một phần tử Δs_2 giống hệt Δs_1 ($\Delta s_2 = \Delta s_1$) nhưng đối xứng với nó qua tâm O. Phần tử này, mang điện tích $\Delta q_2 = \Delta q_1$, gây ra tại M một điện trường có cùng độ lớn như $\Delta \vec{E}_1$ ($\Delta E_2 = \Delta E_1$) và có phương chiều như hình vẽ. Ta thấy các véc tơ $\Delta \vec{E}_2$ đối xứng với $\Delta \vec{E}_1$ qua trục vòng dây. Cường độ điện trường tổng hợp $\Delta \vec{E} = \Delta \vec{E}_1 + \Delta \vec{E}_2$ có phương dọc theo trục vòng dây, có chiều hướng ra xa tâm O, và có độ lớn:

$$\Delta E = 2 \cdot \Delta E_1 \cdot \cos \alpha = 2 \cdot k \frac{\lambda \Delta s_1}{(R^2 + h^2)} \cdot \frac{h}{\sqrt{h^2 + R^2}} = \frac{k \lambda h \cdot (2 \Delta s_1)}{(R^2 + h^2)^{3/2}}$$

($2 \Delta s_1$ là tổng độ dài của hai phần tử ta xét). Xét tất cả các cặp phần tử của vòng dây như trên, mỗi cặp này cho một véc tơ cường độ điện trường $\Delta \vec{E}$ nằm trên trục vòng dây; tất cả các véc tơ $\Delta \vec{E}$ đó tạo thành cường độ điện trường tổng hợp do toàn bộ vòng dây gây ra. Vậy véc tơ cường độ điện trường do vòng dây dẫn gây ra có phương dọc theo trục vòng dây, có chiều hướng ra xa tâm O (nếu $q > 0$) hoặc hướng về tâm O (nếu $q < 0$) và có độ lớn:

$$E = \Delta E_1 + \Delta E_2 + \dots = \frac{k \lambda h}{(R^2 + h^2)^{3/2}} (\Delta s_1 + \Delta s_2 + \dots) = \frac{k \lambda h}{(R^2 + h^2)^{3/2}} \times (\text{chiều dài vòng dây})$$

$$E = \frac{k\lambda h}{(R^2 + h^2)^{3/2}} \cdot 2\pi R = \frac{k h |q|}{(R^2 + h^2)^{3/2}}$$

$$(\text{vì } |q| = 2\pi R \cdot \lambda)$$

Cường độ điện trường tại điểm M ở rất xa vòng dây: $h \gg R$

$$E \approx \frac{k|q|}{h^2} \quad \text{Ta thấy, ở rất xa vòng dây cường độ điện}$$

trường gây bởi vòng dây mang điện có giá trị giống như cường độ điện trường gây bởi điện tích điểm q đặt tại tâm vòng dây.

b) Tương tự như trên mỗi phần tử của vòng dây gây ra tại M một điện thế

$$\Delta V = \frac{k\lambda \Delta s}{(h^2 + R^2)^{1/2}}$$

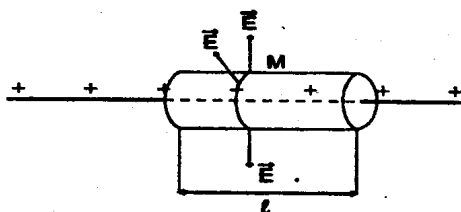
Điện thế là đại lượng vô hướng nên điện thế gây ra bởi cả vòng dây bằng:

$$V = \Delta V_1 + \Delta V_2 + \dots = k \frac{\lambda}{(h^2 + R^2)^{1/2}} \cdot (\Delta s_1 + \Delta s_2 + \dots)$$

$$V = k \frac{\lambda}{(h^2 + R^2)^{1/2}} \cdot 2\pi R = k \frac{q}{(h^2 + R^2)^{1/2}}$$

Tại vô cực, $h \rightarrow \infty$, $V_\infty = 0$

4.33. a) Vì dây dẫn dài vô hạn và tích điện đều, cho nên véc tơ cường độ điện trường có phương vuông góc với dây dẫn (có thể chứng minh tương tự như ở bài 4.32: Xét các cặp phần tử dây dẫn (coi như hai điện tích điểm) đối xứng qua đường thẳng kẻ



Hình 4.53

từ M vuông góc với dây dẫn); hơn nữa tại mọi điểm cách đều dây cường độ điện trường có độ lớn E như nhau. Để tính E ta áp dụng định lý Ostrogradski – Gaoxơ. Vẽ mặt kín là một mặt trụ đi qua M có bán kính đáy là h, có chiều dài l nhỏ (xem hình 4.55, với $\lambda > 0$). Gọi E là độ lớn của cường độ điện trường tại M, điện thông N qua mặt trụ bằng điện thông qua mặt xung quanh của hình trụ: $N = E \cdot 2\pi h \cdot l$ (điện thông qua hai đáy bằng không vì $\vec{E}$ vuông góc với pháp tuyến hai đáy). Điện tích bên trong mặt trụ là: $q = \lambda l$. Áp dụng định lý Ostrogradski – Gaoxơ ta có $N = E \cdot 2\pi h \cdot l = 4\pi k \cdot \lambda l$.

$$\text{Suy ra: } E = 2k \frac{\lambda}{h}$$

Vậy véc tơ cường độ điện trường, do một dây dẫn tích điện đều với mật độ điện dài λ , gây ra tại một điểm M cách dây một đoạn h là một véc tơ có phương vuông góc với sợi dây, có chiều hướng ra xa dây nếu $\lambda > 0$ (hoặc hướng về phía dây nếu $\lambda < 0$), và có độ lớn:

$$E = 2k \frac{\lambda}{h}$$

b) Vì hạt bụi ở rất gần dây $h \ll l$ và ở gần đường trung trục của dây, nên cường độ điện trường ở điểm đặt hạt bụi có thể coi giống như cường độ điện trường gây bởi một dây dẫn mang điện, dài vô hạn. Như vậy lực điện tác dụng lên hạt bụi có phương vuông góc với dây dẫn, hướng ra xa dây dẫn (vì $q_2 > 0$ và $q_1 > 0$), và có độ lớn:

$$F = q_1 E, \text{ với } E = 2k \frac{\lambda}{h}$$

$$\text{Theo đề bài: } \lambda = \frac{q_2}{l} \quad \text{Vậy } F = 2k \frac{q_1 q_2}{lh}$$

$$\text{Thay số ta được: } F \approx 9,6 \cdot 10^{-12} \text{ N}$$

4.34. Lực hút tĩnh điện F_d giữa hai quả cầu đó luôn luôn bằng nhau. Lực tác dụng của điện trường lên quả cầu 2 mang điện tích

$+Q$ là $\vec{F}_2 = Q\vec{E}$ hướng theo chiều đường sức, còn lực tác dụng của điện trường

lên quả cầu 1 là $\vec{F}_1 = -q\vec{E}$

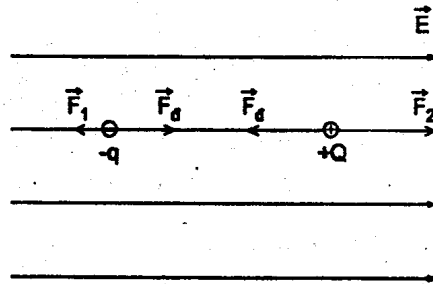
hướng ngược chiều đường sức. Nếu $Q > q$ thì $F_2 > F_1$; khi đó muốn cho khoảng cách giữa hai quả cầu giữ nguyên không thay đổi trong quá trình chuyển động (dĩ nhiên là dọc theo đường sức điện trường) thì ta phải có (xem hình 4.56) $F_2 > F_d > F_1$ (các hợp lực tác dụng lên các quả cầu phải có cùng một chiều). Như vậy có nghĩa là đường sức phải có chiều từ quả cầu 1 đến quả cầu 2 như trên hình 4.56. Mặt khác hai quả cầu phải có gia tốc bằng nhau. (để đảm bảo chúng đi được các quãng đường bằng nhau trong cùng một khoảng thời gian), nghĩa là ta phải có:

$$a_1 = a_2 \rightarrow \frac{F_d - F_1}{m} = \frac{F_2 - F_d}{M}$$

$$\text{hay} \quad \frac{1}{m} \left(\frac{kqQ}{d^2} - qE \right) = \frac{1}{M} \left(QE - \frac{kQq}{d^2} \right)$$

$$\text{Từ đó suy ra: } E = \frac{kqQ(M+m)}{d^2(mQ+Mq)}$$

4.35. Quả cầu chịu tác dụng của ba lực: lực điện trường $\vec{F} = q\vec{E}$, trọng lực P và lực căng $\vec{T}$. Theo bài 4.32, điện trường $\vec{E}$ có phương là trục của vòng dây, có chiều hướng ra xa O và có độ lớn:



Hình 4.54

$$E = \frac{kq_0}{(r^2 + h^2)^{3/2}} = \frac{kq_0 \sqrt{l^2 - r^2}}{l^3} \quad (1)$$

Muốn cho quả cầu nằm cân bằng phải có $\vec{F} + \vec{P} + \vec{T} = 0$, suy ra $\tan \alpha = \frac{F}{P}$

$$\text{Theo hình vẽ } \tan \alpha = \frac{r}{h}. \text{ Do đó: } \frac{r}{h} = \frac{qE}{mg} \quad (2)$$

$$\text{Từ (1) và (2) suy ra } q = l \sqrt{\frac{m \lg}{kr}} = 1,8 \cdot 10^{-7} \text{ C}$$

4.36. Xác định cường độ điện trường do từng cặp điện tích nằm trên cùng một đường kính, như q_1 và q_4 chẳng hạn. Khi đó $\vec{E}_{14}$ do q_1 và q_4 gây ra tại O có hướng OA và có độ lớn:

$$E_{14} = \frac{k(q_4 - q_1)}{a^2}$$

Tương tự $\vec{E}_{25}$ có hướng OB và có độ lớn:

$$E_{25} = \frac{k(q_4 - q_1)}{a^2} = E_{14} \text{ (vì } q_5 - q_2 = q_4 - q_1 \text{);}$$

$\vec{E}_{36}$ có hướng OC và có độ lớn:

$$E_{36} = \frac{k(q_6 - q_3)}{a^2} = E_{14} \text{ (vì } q_6 - q_3 = q_4 - q_1 \text{)}$$

Do đó $\vec{E} = \vec{E}_{14} + \vec{E}_{25} + \vec{E}_{36}$. Dễ dàng tìm được $\vec{E} = 2\vec{E}_{25}$

nghĩa là cường độ điện trường tại tâm O có hướng OB và có độ lớn: $E = 2E_{25} = 2 \frac{k(q_5 - q_2)}{a^2} = 1,2 \cdot 10^7 \text{ V/m}$

4.37. a) Theo công thức tính điện thế, điện tích của quả cầu bằng $q = \frac{VR_1}{k}$. Khi nối quả cầu với vỏ cầu bằng một dây dẫn. Vỏ cầu và quả cầu hợp với nhau thành một vật dẫn duy nhất, khi đó điện tích được phân bố lại và chỉ phân bố ở mặt ngoài vỏ cầu (theo tính chất của vật dẫn cân bằng điện), hơn nữa vỏ cầu và quả cầu có cùng một điện thế. Điện thế của vỏ cầu (và cả quả cầu) bây giờ là:

$$V_1 = k \frac{q}{R_2} = V \frac{R_1}{R_2}$$

Như vậy điện thế của quả cầu đã biến thiên một lượng:

$$\Delta V = V_1 - V = V \left(\frac{R_1}{R_2} - 1 \right)$$

b) Khi vỏ cầu nối với đất (có thể coi đất là một vật dẫn có kích thước rất lớn và ở rất xa hệ mà ta nghiên cứu), các điện tích hưởng ứng cùng dấu với điện tích của quả cầu bị đẩy ra xa. Khi đó trên vỏ cầu chỉ còn điện tích q' bằng q về độ lớn nhưng trái dấu: $q' = -q = -\frac{VR_1}{k}$. Điện thế của quả cầu lúc này bằng điện thế do q và q' gây ra. Điện thế do q' gây ra tại tâm của vỏ cầu (cũng là tâm của quả cầu) bằng $V_2 = k \frac{q}{R_2}$.

Vật dẫn là khối đẳng thế cho nên điện thế trên mặt quả cầu và tại tâm của nó bằng nhau, do đó điện thế của quả cầu bây giờ là:

$$V' = V + V_2 = V - V \frac{R_1}{R_2} = V \left(1 - \frac{R_1}{R_2} \right) = kq \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

c) Quả cầu và vỏ cầu tạo nên tụ điện cầu. Theo định nghĩa điện dung của tụ điện $C = \frac{q}{U}$, ở đây $U = V' - 0 = V'$ (điện thế của vỏ cầu nối đất bằng không). Do đó:

$$C = \frac{1}{k \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)} = \frac{R_1 R_2}{k(R_2 - R_1)}$$

4.38. Có thể coi tụ điện đó là một hệ tụ điện gồm n tụ điện phẳng ghép nối tiếp các bản của các tụ điện đều có diện tích S , khoảng cách các bản là $d_1, d_2, \dots$ lớp điện môi giữa hai bản có hằng số điện môi $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots$ Sau đó dùng công thức ghép tụ nối tiếp ta tính được C .

Cách khác: Ta tính điện dung của tụ điện theo công thức: $C = \frac{Q}{U}$, với Q là điện tích trên các bản và U là hiệu

điện thế giữa các bản. Ở đây các lớp điện môi đặt song song với các bản tụ điện. Do đó mặt phân cách giữa các lớp điện môi chính là các mặt đẳng thế. Gọi U_i là hiệu điện thế giữa hai mặt của lớp điện môi thứ i , ta có $U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$. Điện trường trong từng lớp điện môi là điện trường đều có cường độ E_i , nên $U_i = E_i d_i$. Để tính E_i , gọi E_0 là cường độ điện trường giữa hai bản tụ điện khi không có điện môi do điện tích Q trên bản tụ điện gây ra, ta có (xem bài 4.10):

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{S \epsilon_0} = \frac{4\pi k q}{S}, \text{ với } S \text{ là diện tích mỗi bản, và do đó } E_i = \frac{E_0}{\epsilon_i}$$

(điện trường trong điện môi nhỏ hơn ϵ_i lần)

$$\text{Do đó } U = E_1 d_1 + E_2 d_2 + \dots = \frac{4\pi k Q}{S} \left(\frac{d_1}{\epsilon_1} + \frac{d_2}{\epsilon_2} + \dots \right)$$

$$\text{và từ đó: } C = \frac{Q}{U} = \frac{S}{4\pi k \left(\frac{d_1}{\epsilon_1} + \frac{d_2}{\epsilon_2} + \dots \right)}$$

Áp dụng cụ thể cho tụ điện phẳng có $S = 400 \text{ cm}^2$

$$C = \frac{S}{4\pi k \left(\frac{d}{\epsilon} + \frac{a-d}{1} \right)} \approx 1,41 \cdot 10^{-10} \text{ F}$$

4.39. Điện trường giới hạn đối với một vật liệu cách điện là điện trường nhỏ nhất để xảy ra hiện tượng phóng điện đâm xuyên trong vật liệu đó, nghĩa là nếu điện trường lớn hơn giá trị này, vật liệu không còn là cách điện nữa (và trở thành dẫn điện).

a) Khi chưa có tấm thủy tinh, cường độ điện trường trong tụ điện là:

$$E = \frac{U}{d} = 2,6 \cdot 10^4 \text{ V/m} < E_k : \text{tụ điện không bị "đánh thủng"} \text{ (nổ)}.$$

b) Khi có tấm thủy tinh, điện dung của tụ điện tăng lên. Do đó với cùng một hiệu điện thế U giữa hai bản tụ điện, điện tích ở các bản tăng lên, làm cho điện trường trong khoảng không khí tăng lên. Gọi E_1 và E_2 là cường độ điện trường trong phần không khí và trong tấm thủy tinh, ta có:

$$U = E_1(d - l) + E_2 l \text{ và } E_2 = \frac{E_1}{\epsilon}$$

$$\text{Từ đó } E_1 = \frac{U}{d - l + \frac{l}{\epsilon}} \approx 3,14 \cdot 10^6 \text{ V/m} > E_k$$

không khí bị đâm xuyên và trở nên dẫn điện. Do đó, khi đó hiệu điện thế U của nguồn đặt trực tiếp vào hai mặt tấm thủy tinh. Điện trường trong tấm thủy tinh bây giờ là:

$$E'_2 = \frac{U}{l} = 1,3 \cdot 10^7 \text{ V/m} > E_t : \text{thủy tinh bị đâm xuyên và tụ điện bị "nổ"}.$$

4.40. a) Trường hợp tụ điện nối với nguồn :

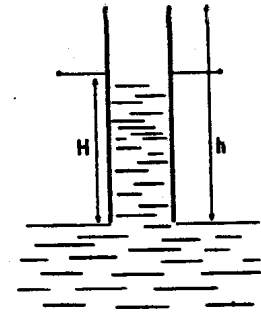
Khi tụ điện đã được tích điện được đặt chạm vào khối điện môi lỏng nó có xu hướng hút điện môi vào giữa hai bản (do điện môi bị phân cực do tác dụng của điện trường tụ điện) và như vậy năng lượng của hệ giảm đi. Công của lực điện trường kéo điện môi lỏng vào trong tụ điện biến thành thế

năng của cột điện môi trong trọng trường. Công này bằng độ biến thiên năng lượng của hệ tụ điện - nguồn (xem bài thí dụ 13) và có giá trị.

$$A = (C_2 - C_1) \frac{U^2}{2} \quad (1)$$

với C_1 và C_2 là điện dung của tụ điện trước và sau khi có cột điện môi với chiều cao H :

$$C_1 = \frac{lh}{4\pi kd}$$



Hình 4.55

Để tính C_2 ta có thể coi tụ điện với cột điện môi như gồm hai tụ điện mắc song song (Hình 4.59) một tụ điện không khí có chiều cao $h-H$, và một tụ điện môi có chiều cao H ; do đó

$$C_2 = \frac{l(h-H)}{4\pi kd} + \frac{\epsilon l H}{4\pi kd} = C_1 + \frac{(\epsilon - 1)lH}{4\pi kd}$$

$$\text{Thay vào (1) ta được } A = \frac{U^2(\epsilon - 1)lH}{2d \cdot 4\pi k}$$

Thế năng của cột điện môi trong trọng trường (độ cao của khối tâm bằng $\frac{H}{2}$) là $W_t = P \cdot \frac{H}{2} = \frac{1}{2} D g l d H^2$

$$\text{Do đó } A = W_t \rightarrow H = \frac{(\epsilon - 1)U^2}{4\pi k D g d^2}$$

b) Trường hợp tụ điện ngắt khỏi nguồn:

Về căn bản hiện tượng không có gì khác so với trường hợp trên, chỉ có một điều cần chú ý là điện tích Q trên các bản tụ điện giữ nguyên không thay đổi và bằng $Q = C_1 U$. Khi điện môi dâng lên hiệu điện thế giữa hai bản không còn bằng U nữa và công A được tính theo công thức

$$A = \frac{Q^2}{2C_2} - \frac{Q^2}{2C_1} \text{ với } C_1 \text{ và } C_2 \text{ có biểu thức như ở câu a}$$

Đặt $A = W_1$ suy ra độ cao H' của cột điện môi :

$$H' = \frac{\sqrt{\pi k D^2 g^2 h^2 d^2 + (\epsilon - 1) D g h U^2}}{2 D g d (\epsilon - 1) \sqrt{\pi k}} - \frac{h}{2(\epsilon - 1)}$$

4.41. Khi K ở chốt 1, các tụ điện C_2 và C_3 được tích điện (C_1 chưa được tích điện). Điện tích trên hai tụ điện đó (mắc nối tiếp) bằng nhau và có giá trị :

$$Q = C (\epsilon_1 + \epsilon_2) = \frac{C_2 C_3}{C_2 + C_3} (\epsilon_1 + \epsilon_2) \quad (1)$$

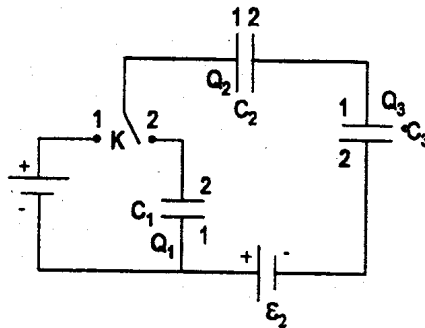
Các bản số 1 của C_2 và C_3 mang điện tích $+Q$, các bản số 2 mang điện tích $-Q$.

Khi khoá K chuyển sang chốt 2 (Hình 4.61) điện tích trên các tụ điện là Q_1 , Q_2 và Q_3 .

Để lập các phương trình xác định Q_1 , Q_2 , Q_3 , vì chưa biết dấu của điện tích trên các bản, nên trong các phương trình dưới đây ta có: Q_1 , Q_2 , Q_3 , là giá trị đại số của các điện tích trên các bản số 1 của mỗi tụ điện. Phương trình điện thế có dạng: $U_1 + U_2 + U_3 = \epsilon$

$$\text{hay} \quad \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \frac{Q_3}{C_3} = \epsilon_2 \quad (2)$$

Trước khi khoá K đóng sang chốt 2, điện tích trên bản số 1 của tụ điện C_2 là Q ($Q > 0$) nên theo định luật bảo toàn điện tích, điện tích tổng cộng trên bản số 1 của C_2 và bản số 2 của C_1 , sau khi khoá K đã ở chốt 2, cũng là Q : $Q_2 - Q_1 = Q$ (3). Tương tự, vì điện tích tổng cộng trên bản 1 của C_3 và bản 2 của C_2 trước khi chuyển khoá K bằng không nên : $Q_3 - Q_2 = 0$ (4).



Hình 4.56

Giải hệ phương trình (2), (3), (4) và thay Q từ (1) vào ta có:

$$Q_1 = - \frac{C_1 C_2 C_3 \epsilon_1}{C_1 C_2 + C_1 C_3 + C_2 C_3}$$

$$Q_2 = Q_3 = \frac{C_2 C_3 \epsilon_2}{C_2 + C_3} + \frac{C_2^2 C_3^2 \epsilon_1}{(C_2 + C_3)(C_1 C_2 + C_1 C_3 + C_2 C_3)}$$

Từ đó suy ra hiệu điện thế trên các tụ điện :

$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1} ; U_2 = \frac{Q_2}{C_2} ; U_3 = \frac{Q_3}{C_3}$$

Ta thấy $Q_1 < 0$ và do đó $V_1 < 0$ nghĩa là bản số 1 của tụ điện C_1 mang điện tích âm bằng Q_1 , còn bản số 1 của các tụ điện C_2 và C_3 lại mang điện tích dương.

Vì ban đầu C_1 chưa được tích điện nên điện tích chuyển qua K chính là điện tích ở bản số 2 của C_1 , điện tích này là điện tích dương. Vậy ngay sau khi K đóng vào chốt 2, có một lượng điện tích dương $|q_1|$ chuyển qua K đến bản số 2 của C_1 .

4.42. Áp dụng công thức điện trường do mặt phẳng vô hạn tích điện đều gây ra (xem bài 4.9). Vì hai mặt phẳng mang điện tích cùng dấu, nên trong khoảng giữa hai bản, hai vectơ cường độ điện trường do hai mặt phẳng mang điện đó gây ra có hướng ngược nhau, và vì $\sigma_A > \sigma_B$ nên cường độ điện trường tổng hợp đều có chiều hướng từ A đến B. Trong phần không khí giữa hai mặt A, B cường độ điện trường tổng hợp có độ lớn:

$$E_0 = \frac{\sigma_A - \sigma_B}{2\epsilon_0} = 2\pi k (\sigma_A - \sigma_B)$$

Trong lớp điện môi, cường độ điện trường có độ lớn :

$$E_{dm} = \frac{E_0}{\epsilon} = \frac{2\pi k}{\epsilon} (\sigma_A - \sigma_B)$$

Vì điện trường đều áp dụng công thức tính hiệu điện thế $U = Ed$, ta có :

$$U_{AB} = V_A - V_B = V_A - V_1 + V_1 - V_2 + V_2 - V_B$$

trong đó $V_A - V_1 = E_0 d_1$; $V_1 - V_2 = E_{dm} \cdot d$; $V_2 - V_B = E_0 d_2$;

từ đó $U_{AB} = E_0 d_1 + E_{dm} \cdot d + E_0 d_2 = E_0 (d_1 + d_2) + E_{dm} \cdot d$

$$U_{AB} = 2\pi k (\sigma_A - \sigma_B) (D - d + \frac{d}{\epsilon})$$

Thay số ta được : $U_{AB} = 4239V$

4.43. Trước khi nối các tụ điện, ta có: $q_1 = C_1 U_1$ và $q_2 = C_2 U_2$, và năng lượng của hệ tụ điện bằng:

$$W_1 = \frac{C_1 U_1^2}{2} + \frac{C_2 U_2^2}{2}$$

Sau khi hai tụ điện nối với nhau, ta có hệ tụ mắc song song với hiệu điện thế là U . Điện tích của hệ tụ là :

$$q = q_1 + q_2 = C_1 U_1 + C_2 U_2$$

Từ đó $C_1 U_1 + C_2 U_2 = (C_1 + C_2) U$.

$$\text{suy ra } U = \frac{C_1 U_1 + C_2 U_2}{C_1 + C_2}$$

Năng lượng tổng hợp của hệ tụ bây giờ là :

$$W_2 = \frac{(C_1 + C_2) U^2}{2}. \text{ Nhiệt lượng tỏa ra bằng}$$

$$Q = W_1 - W_2 = \frac{C_1 C_2 (U_1 - U_2)^2}{2(C_1 + C_2)} = 4,5 \cdot 10^{-3} J$$

4.44. Gọi C_0 và C là điện dung của mỗi tụ trước và sau khi các bản tách xa thêm, ta có :

$$C_0 = \frac{S}{4\pi k d} = 0,59 \cdot 10^{-9} F; \quad C = \frac{S}{4\pi k d_2} = \frac{C_0}{3} = \frac{0,59}{3} \cdot 10^{-9} F$$

Điện tích ban đầu của mỗi tụ là :

$$Q_0 = C_0 U_0 \approx 2,95 \cdot 10^{-7} C$$

a) Khi tách đồng thời các bản của hai tụ :

Trong khi tách, hiệu điện thế hai tụ luôn luôn bằng nhau (ban đầu bằng U_0) nên điện thế ở hai đầu mỗi điện trở là như nhau, không có điện tích di chuyển qua các điện trở. Vì vậy trong quá trình tách, điện tích các tụ giữ nguyên không đổi và bằng Q_0 . Công cần thiết để tách trong trường hợp này là

$$A = \Delta W = 2 \cdot \frac{Q_0^2}{2C} - 2 \cdot \frac{Q_0^2}{2C_0} = Q_0^2 \left(\frac{C_0 - C}{C_0 C} \right) \quad (1)$$

b) Khi tách lần lượt từng tụ:

+ Tách tụ thứ nhất trước : Gọi Q_1, Q_2 là điện tích mỗi tụ sau khi tách tụ thứ nhất: U_1 và U_2 là hiệu điện thế trên mỗi tụ sau khi tách, ta có $U_1 = U_2$ hay $\frac{Q_1}{C} = \frac{Q_2}{C_0}$ và $Q_1 + Q_2$

(định luật bảo toàn điện tích).

$$\text{Suy ra : } Q_1 = \frac{2Q_0 C}{C + C_0}; \quad Q_2 = \frac{2Q_0 C_0}{C + C_0},$$

$$\text{và } \Delta Q = Q_2 - Q_1 = 2Q_0 \frac{(C_0 - C)}{C + C_0}$$

Như vậy có lượng điện tích ΔQ di chuyển qua các điện trở trong thời gian t , nghĩa là có dòng điện $I = \frac{\Delta Q}{t}$ chạy qua các

điện trở, vì vậy có nhiệt lượng $RI^2 t$ tỏa ra ở mỗi điện trở. Do đó công cần thiết để tách các bản của tụ thứ nhất bằng: $A_1 = Q_R + \Delta W_1 + \Delta W_2$, trong đó Q_R là nhiệt lượng tỏa ra trên cả hai điện trở, ΔW_1 và ΔW_2 là độ biến thiên năng lượng của tụ thứ nhất và tụ thứ hai:

$$A_1 = 2I^2 R t = \left(\frac{Q_1^2}{2C} - \frac{Q_0^2}{2C_0} \right) + \left(\frac{Q_2^2}{2C_0} - \frac{Q_0^2}{2C_0} \right)$$

$$A_1 = 8 \left(\frac{Q_0 (C_0 - C)}{t(C + C_0)} \right)^2 R + Q_0^2 \frac{C_0 - C}{C_0 (C + C_0)}$$

+ Sau đó tách tụ thứ hai

Sau khi tách xong điện tích và điện thế trên hai tụ thành giống nhau : $U_1 = U_2$; $Q_1 = Q_0$ (theo định luật bảo toàn năng lượng). Khi đó:

$$\Delta Q' = Q_2 - Q_0 = 2Q_0 \frac{C_0}{C + C_0} - Q_0 = Q_0 \frac{C_0 - C}{C + C_0}$$

Công phải tốn bây giờ là :

$$A_2 = Q'_R + \Delta W'_1 + \Delta W'_2$$

$$\rightarrow A_2 = 2R \left(\frac{Q_0(C_0 - C)}{t(C + C_0)} \right)^2 + Q_0^2 \frac{C_0 - C}{C(C + C_0)} \quad (1)$$

Công tổng cộng phải tốn trong cả quá trình :

$$A' = A_1 + A_2 = 10R \left(\frac{Q_0(C_0 - C)}{t(C + C_0)} \right)^2 + Q_0^2 \frac{C_0 - C}{CC_0} \quad (2)$$

c) Từ (1) và (2) ta thấy $A' > A$ nghĩa là công phải tốn theo cách 2 lớn hơn theo cách 1, và lớn hơn một lượng đúng bằng nhiệt lượng toả ra trên các điện trở.

$$\Delta A = A' - A = 10R \left(\frac{Q_0(C_0 - C)}{t(C + C_0)} \right)^2 = \frac{10R}{t^2} \left(UC_0 \frac{\frac{C_0}{C} - 1}{\frac{C_0}{C} - 1} \right)^2$$

$$\approx 3,2 \cdot 10^{-10} \text{ J}$$

4.45. Chọn hệ toạ độ Oxy có gốc O trùng với điểm bay vào của hạt, trục Oy hướng thẳng đứng lên trên. Vì lực điện trường không làm thay đổi thành phần nằm ngang của véc tơ vận tốc của hạt nên ta có.

$$V_0 \cos \alpha = V_C \cos \beta, \text{ hay } V_C = \frac{V_0 \cos \alpha}{\cos \beta} \quad (1)$$

(C là điểm bay ra của hạt). Thời gian t_0 bay trong điện trường của hạt được tính từ công thức :

$$x = V_0 \cos \alpha t \rightarrow d = V_0 \cos \alpha t_0, \text{ hay } t_0 = \frac{d}{V_0 \cos \alpha} \quad (2)$$

Xét thành phần vận tốc V_y của hạt tại điểm C:

$$V_y = V_{oy} - at \rightarrow V_C \sin \beta = V_0 \sin \alpha - \frac{qE}{m} t_0 \quad (3)$$

Từ (1), (2), (3) rút ra:

$$V_0 = \sqrt{\frac{qEd}{m \cos^2 \alpha (tg \alpha + tg \beta)}} \approx 2,7 \text{ m/s}$$

4.46. Hạt chịu tác dụng của các lực điện do q_1 và q_2 gây ra, hai lực điện đó ngược chiều nhau. Tại một điểm C cách B một đoạn x_0 hai lực đó cân bằng nhau. Vị trí của điểm C được xác định điều kiện :

$$\frac{kq_1 q_3}{(x_0 + a)^2} = \frac{k|q_2| q_3}{x_0^2}$$

Thay số, suy ra $X_0 = \frac{a}{2} = 10 \text{ cm}$.

Hình 4.66

Để dàng thử lại rằng khi hạt cách B một khoảng $x > \frac{a}{2}$ thì lực tác dụng của q_1 lên hạt lớn hơn lực tác dụng của q_2 lên hạt, nghĩa là hợp lực điện tác dụng lên hạt là lực đẩy
(thật vậy $F_1 - F_2 = kq_3 \left(\frac{9}{(x+a)^2} - \frac{1}{x^2} \right) = \frac{kq_3(4x+a)(2x-a)}{x^2(x+a)^2} > 0$

khi $x > \frac{a}{2}$)

Vì vậy hạt chuyển động chậm dần đến C. Muốn cho hạt có thể đến được B thì ít nhất hạt phải đến được C; sau đó do khi $x < \frac{a}{2}$, $F_1 < F_2$ nên hạt đến được điểm B. Như vậy vận tốc ban đầu V_0 tối thiểu của hạt là ứng với vận tốc V_C của hạt tại C bằng không ($V_C = 0$). Áp dụng định luật bảo toàn năng lượng. Ở xa vô cùng hạt chỉ có động năng : $E_1 = \frac{mV_0^2}{2}$. Tại C, vì $V_C = 0$, hạt chỉ có thế năng điện trường của q_1 và q_2 :

$$E_2 = \left(k \frac{q_1}{a+x_0} + k \frac{q_2}{x_0} \right) q_3$$

$$\text{Ta có } E_1 = E_2 \rightarrow V_0^2 = \frac{2kq_3}{m} \left(\frac{q_1}{a+x_0} + \frac{q_2}{x_0} \right)$$

Thay số ta được : $V_0 \approx 60\text{m/s}$

§5. NHỮNG ĐỊNH LUẬT CƠ BẢN CỦA DÒNG ĐIỆN KHÔNG ĐỔI

1. KIẾN THỨC CẦN NHỚ

A. KIẾN THỨC CƠ BẢN

1. *Dòng điện* là dòng chuyển dời có hướng của các hạt mang điện. *Chiều của dòng điện* được quy ước là chiều chuyển động của các hạt mang điện dương (hay ngược với chiều của các hạt mang điện âm).

Cường độ dòng điện: $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$, với Δq là lượng điện tích (điện lượng) chuyển qua tiết diện thẳng của vật dẫn trong khoảng thời gian nhỏ Δt .

Dòng điện không đổi có chiều và cường độ không thay đổi theo thời gian. Cường độ dòng điện không đổi: $I = \frac{q}{t}$ (q là điện lượng chuyển qua tiết diện thẳng của vật dẫn trong khoảng thời gian t bất kỳ). Suy ra: $q = It$.

Đơn vị cường độ dòng điện: ampe (kí hiệu A). Đo cường độ dòng điện bằng ampe kế (mắc nối tiếp vào mạch cần đo dòng điện).

2. *Điện trở* là đại lượng đặc trưng cho tính cản trở dòng điện của vật dẫn. Đơn vị điện trở: ôm, kí hiệu Ω .

a) Ở một nhiệt độ nhất định điện trở của dây dẫn đồng tính hình trụ có tiết diện S , chiều dài l là: $R = \rho \frac{l}{S}$

l tính ra m, S tính ra m^2 ; R tính ra ôm; ρ gọi là *điện trở suất* của chất cấu tạo nên dây dẫn, có đơn vị là ôm.mét (Ωm)

b) Điện trở và điện trở suất phụ thuộc vào nhiệt độ

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t); \rho_t = \rho_0 (1 + \alpha t)$$

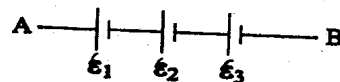
R_0, R_t, ρ_0, ρ_t lần lượt là điện trở và điện điện trở suất ở 0°C và $t^\circ\text{C}$; α là hệ số nhiệt điện trở, có đơn vị là K^{-1} ; Đối với kim loại $\alpha > 0$, còn đối với chất điện phân $\alpha < 0$.

3. *Nguồn điện* là cơ cấu để tạo ra và duy trì hiệu điện thế ở hai đầu vật dẫn (trong mạch) nhằm duy trì dòng điện. Nguồn điện (không đổi) nào cũng có hai cực là cực âm và cực dương. Dòng điện do nguồn phát ra đi từ cực dương của nguồn. Các nguồn điện hoá học thường dùng là pin và acquy.

a) Mỗi nguồn điện đều có một suất điện động xác định $\mathcal{E}$ (tính ra vôn) và một điện trở trong r (tính ra ôm).

b) Các nguồn điện thường được mắc chung với nhau thành bộ nguồn.

Khi *mắc nối tiếp* các nguồn điện (cực dương của nguồn này nối với cực âm của nguồn kia...) (Hình 5.1) suất điện động $\mathcal{E}_b$ và điện trở trong r_b của bộ nguồn được tính theo công thức

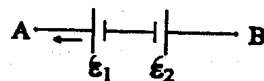


Hình 5.1

$$\mathcal{E}_b = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \dots + \mathcal{E}_n; r_b = r_1 + r_2 + \dots + r_n.$$

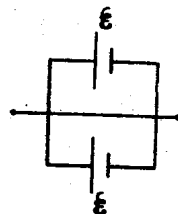
Nếu các nguồn trong bộ nguồn hoàn toàn giống nhau, thì $\mathcal{E}_b = n\mathcal{E}$, và $r_b = nr$.

Hai nguồn $\mathcal{E}_1$ và $\mathcal{E}_2$ *mắc xung đối* (Cực dương (hoặc cực âm) của $\mathcal{E}_1$ nối với cực dương (hoặc cực âm) của $\mathcal{E}_2$) và nếu $\mathcal{E}_1 > \mathcal{E}_2$ thì (Hình 5.2) $\mathcal{E}_b = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2$; $r_b = r_1 - r_2$ và dòng điện phát ra từ bộ nguồn là dòng điện đi ra từ cực dương của $\mathcal{E}_1$.



Hình 5.2

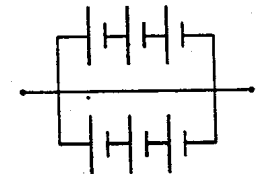
Khi các nguồn giống nhau mắc *song* (các cực cùng tên của các nguồn được nối chung vào 1 đầu) (Hình 5.3):



Hình 5.3

$$\mathcal{E}_b = \mathcal{E}; r_b = \frac{r}{n}$$

Khi các nguồn giống nhau mắc theo kiểu *hỗn hợp đối xứng* (mắc thành m dãy song song, mỗi dãy có n nguồn mắc nối tiếp, tổng số nguồn là $N = m.n$) (Hình 5.4):



Hình 5.4

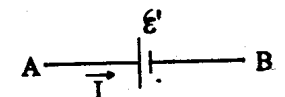
$$\mathcal{E}_b = n\mathcal{E}; r_b = \frac{nr}{m}$$

4. *Các máy thu điện* chuyển hoá điện năng thành các dạng năng lượng khác nhau (nội năng, hoá năng, cơ năng...), có hai loại:

a) *Máy thu chỉ toả nhiệt* (hay *thiết bị toả nhiệt*) (như đèn điện, bếp điện, ấm điện, bàn là điện...) là trường hợp toàn bộ điện năng (công) cung cấp cho máy được chuyển hoá thành nhiệt.

b) *Máy thu (điện)* (động cơ điện, acquy đang được nạp điện...) là trường hợp công của dòng điện chuyển hoá một phần nhỏ thành nhiệt, còn phần lớn thành các dạng năng lượng có ích khác. Máy thu có suất phản điện $\mathcal{E}'$ (tính ra vôn) và điện trở trong r' . Hiệu điện thế cần đặt vào máy thu $U = r'I + \mathcal{E}' > \mathcal{E}'$.

Dòng điện đi vào cực dương của máy thu (hình 5.5). Khi pin và acquy đóng vai trò máy thu (dòng điện đi vào cực dương của pin hoặc acquy, chẳng hạn khi acquy đang được nạp điện) thì suất phản điện của máy thu khi đó bằng suất điện động của nguồn khi phát điện ($\mathcal{E}' = \mathcal{E}$).

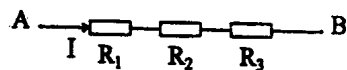


Hình 5.5

5. *Định luật Ôm đối với đoạn mạch chỉ có điện trở thuần* (đoạn mạch thuần điện trở): $I = \frac{U}{R}$ (U là hiệu điện thế đặt vào hai đầu đoạn mạch; R là điện trở của đoạn mạch, *dòng điện trong mạch có chiều từ nơi có điện thế cao đến nơi có điện thế thấp hơn*).

a) Đối với đoạn mạch gồm các điện trở $R_1, R_2 \dots$ mắc nối tiếp (Hình 5.6):

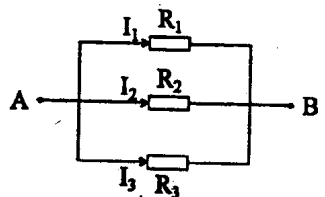
$$I = \frac{U}{R_{tp}} \text{ với } R_{tp} = R_1 + R_2 + \dots$$



Hình 5.6

b) Đối với đoạn mạch gồm các điện trở $R_1, R_2 \dots$ mắc song song (Hình 5.7):

$$I = \frac{U}{R_{td}} \text{ với } R_{td} \text{ là điện trở}$$



Hình 5.7

tương đương của đoạn mạch:

$$\frac{1}{R_{td}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$

Cường độ dòng điện mạch chính $I = I_1 + I_2 + \dots$ với $I_1, I_2, \dots$ là dòng điện chạy trong các mạch rẽ (nhánh). Trường hợp hai điện trở R_1, R_2 mắc song song:

$$R_{td} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

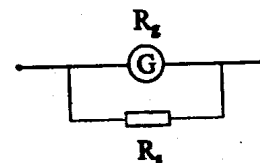
c) Nếu đoạn mạch gồm các điện trở mắc hỗn hợp (vừa nối tiếp, vừa song song) thì phân tích đoạn mạch thành các phần mắc nối tiếp và phần mắc song song, rồi áp dụng các công thức trên. Khi cần thiết phải vẽ lại mạch để thấy rõ.

6. Mắc điện trở phụ cho các dụng cụ đo điện

a) Điện kế là cơ cấu hoạt động do tác dụng của dòng điện, dùng để đo cường độ dòng điện hoặc hiệu điện thế. Mỗi điện kế chỉ đo được cường độ dòng điện không vượt quá một giới hạn I_0 và chỉ đo được một hiệu điện thế không vượt quá giá trị $U_0 = R_g I_0$, với R_g là điện trở của điện kế. I_0 và U_0 được gọi là *giới hạn đo*. Muốn đo dòng điện lớn hoặc hiệu

điện thế lớn người ta mắc thêm điện trở phụ, biến điện kế thành ampe kế và vôn kế. Trên mặt điện kế, ampe kế, vôn kế có nhiều vạch chia độ gọi là thang đo; vạch đầu thang ghi số 0, vạch cuối thang ghi giá trị cực đại mà dụng cụ có thể đo được. Để mở rộng thang đo (tăng thêm giới hạn đo) của dụng cụ người ta cũng mắc thêm điện trở phụ.

b) Mắc *son* R_s cho ampe kế (mắc R_s song song với điện kế, $R_s \parallel R_g$) (Hình 5.8)

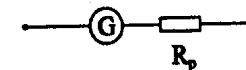


Hình 5.8

$$I = I_g \left(1 + \frac{R_g}{R_s}\right), \text{ hay } \frac{I}{I_g} = 1 + \frac{R_g}{R_s} = n$$

I là cường độ dòng điện đi vào ampe kế (dòng điện cần đo), I_g là phần dòng điện đi vào điện kế. Dòng điện đi vào cực dương của ampe kế (n còn được gọi là hệ số mở rộng thang đo)

c) Mắc điện trở phụ R_p cho vôn kế (mắc R_p nối tiếp với điện kế, R_p nt R_g) (Hình 5.9):



Hình 5.9

$$U = I_g (R_g + R_p) = U_g \left(1 + \frac{R_p}{R_g}\right), \text{ hay } \frac{U}{U_g} = 1 + \frac{R_p}{R_g} = n$$

và $U = I_V R_V$. U là hiệu điện thế giữa hai đầu vôn kế (hiệu điện thế cần đo); U_g là hiệu điện thế giữa hai đầu điện kế; I_V là cường độ dòng điện chạy qua vôn kế (chính là I_g); R_V là điện trở của vôn kế ($R_V = R_g + R_p$). Cực dương của vôn kế nối với điểm có điện thế cao hơn (n còn được gọi là hệ số mở rộng thang đo).

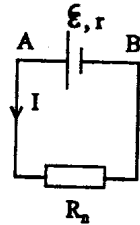
7. Định luật Ôm cho mạch kín (toàn mạch)

a) Mạch kín có nguồn điện ($\mathcal{E}, r$) và điện trở ngoài R_n (Hình 5.10):

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_n + r}$$

Hiệu điện thế mạch ngoài U_n (cũng là hiệu điện thế U giữa hai cực của nguồn điện):

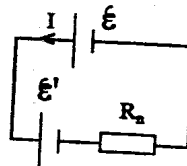
$$U_n = IR_n; U = \mathcal{E} - Ir$$



Hình 5.10

b) Mạch kín có nguồn điện ($\mathcal{E}, r$) máy thu ($\mathcal{E}', r'$) và điện trở ngoài R_n (Hình 5.11):

$$I = \frac{\mathcal{E} - \mathcal{E}'}{R_n + r + r'}$$



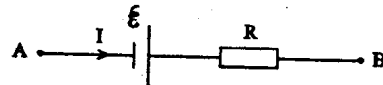
Hình 5.11

I là cường độ dòng điện phát ra từ cực dương của nguồn và đi vào cực dương của máy thu.

c) Nếu trong mạch có nhiều nguồn điện thì $\mathcal{E}$ và r là suất điện động và điện trở trong của bộ nguồn

8. Định luật Ôm cho các loại đoạn mạch

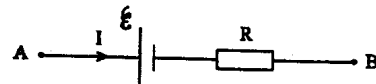
a) Trường hợp đoạn mạch AB chứa nguồn ($\mathcal{E}, r$) và điện trở R (Hình 5.12)



Hình 5.12

$U_{AB} = R_{AB}I - \mathcal{E}$
với I là cường độ dòng điện chạy từ A đến B, đi qua nguồn từ cực âm sang cực dương và $R_{AB} = R + r$.

Hoặc $I = \frac{U_{AB} + \mathcal{E}}{R_{AB}}$

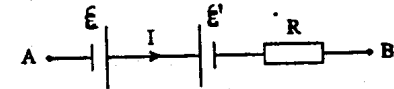


Hình 5.13

b) Trường hợp đoạn mạch AB chứa máy thu ($\mathcal{E}', r'$) và điện trở (Hình 5.13):

$U_{AB} = R_{AB}I + \mathcal{E}'$ với I là cường độ dòng điện chạy từ A đến B, đi vào cực dương của máy thu và $R_{AB} = R + r$. Hoặc $I = \frac{U_{AB} - \mathcal{E}'}{R_{AB}}$.

c) Trường hợp đoạn mạch chứa nguồn ($\mathcal{E}, r$), máy thu ($\mathcal{E}', r'$) và điện trở R (Hình 5.14):



Hình 5.14

$U_{AB} = R_{AB}I + \mathcal{E}' - \mathcal{E}$.
hoặc $I = \frac{U_{AB} + \mathcal{E} - \mathcal{E}'}{R_{AB}}$ với I là cường độ dòng điện chạy từ A đến B, đi qua nguồn từ cực âm sang cực dương, đi vào cực dương của máy thu: $R_{AB} = R + r + r'$

9. Công và công suất. Định luật Jun - Lenxơ

a) Công và công suất của dòng điện ở một đoạn mạch tiêu thụ điện năng (ngoài điện trở thuần còn có thể có máy thu): $A = UIt$; $P = UI$.

b) Định luật Jun - Lenxơ: Nhiệt lượng toả ra ở điện trở R

$$Q(J) = RI^2t, \text{ hoặc } Q(\text{calo}) = 0,24RI^2t$$

c) Công và công suất của nguồn điện: $A = \mathcal{E}.It$, $P = \mathcal{E}.I$

Hiệu suất của nguồn điện trong mạch kín là tỉ số giữa công suất tiêu thụ ở mạch ngoài $P_n = U_n I$ và công suất của nguồn điện:

$$H = \frac{P_n}{P} = \frac{U_n}{\mathcal{E}} = \frac{R_n}{R_n + r}$$

d) Công suất của máy thu điện:

+ Đối với máy thu chỉ toả nhiệt: $P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}$

+ Đối với máy thu: $P = \mathcal{E}'I + r'I^2$

($P' = \mathcal{E}'I$ là phần công suất mà máy thu chuyển hoá thành dạng năng lượng có ích khác, không phải là nhiệt).

Hiệu suất của máy thu là tỉ số giữa công suất có ích P' và công suất tiêu thụ toàn bộ của máy: $\frac{\mathcal{E}'}{\mathcal{E}' + rI}$

+ Điện năng tiêu thụ của máy thu điện: $A = Pt$

+ Trên các máy thu điện thường ghi hai chỉ số: công suất điện P_d (công suất định mức) của máy và hiệu điện thế U_d (hiệu điện thế định mức) cần phải đặt vào máy để nó hoạt động bình thường. Khi hiệu điện thế đặt vào máy thu điện có giá trị đúng bằng chỉ số U_d thì công suất tiêu thụ của máy đúng bằng chỉ số P_d và dòng điện chạy qua máy có cường độ,

$$I_d = \frac{P_d}{U_d}, \text{ gọi là cường độ định mức.}$$

e) Đơn vị công là jun, đơn vị công suất là oát. Điện năng tiêu thụ còn được tính ra kWh: $1\text{kWh} = 3.600.000\text{J}$

B. KIẾN THỨC BỔ XUNG

1. Véc tơ mật độ dòng

- Mật độ dòng điện i là đại lượng có trị số bằng điện lượng chuyển qua một đơn vị diện tích đặt vuông góc với vận tốc của hạt mang điện trong một đơn vị thời gian, có đơn vị là A/m^2 :

$$i = \frac{I}{S} = q_0 n v$$

(I là cường độ dòng điện chạy qua tiết diện thẳng S của dây dẫn, q_0 là điện tích của hạt mang điện; n là mật độ hạt mang điện (số hạt trong một đơn vị thể tích), v là vận tốc chuyển động định hướng của các hạt mang điện).

- Dưới dạng véc tơ: $\vec{i} = q_0 n \vec{v}$

2. Định luật Ôm tổng quát

Nếu trên đoạn mạch AB có nhiều nguồn điện, máy thu điện và điện trở thì định luật Ôm có dạng tổng quát sau đây:

$$U_{AB} = R_{AB} I_{AB} + \Sigma(\pm \mathcal{E}) + \Sigma(\pm \mathcal{E}')$$

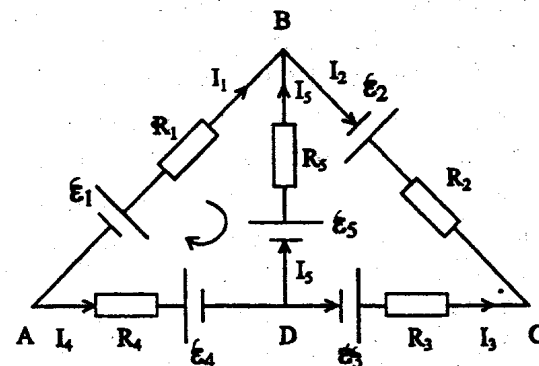
Với quy ước:

+ $I_{AB} = I$ nếu dòng điện trên đoạn mạch chạy từ A đến B và $I_{AB} = -I$ nếu dòng điện chạy từ B đến A.

+ $\mathcal{E}$ (hoặc $\mathcal{E}'$) lấy dấu "+" nếu đầu A của đoạn mạch nối với cực dương của nguồn (hoặc máy thu điện), và lấy dấu "-" nếu đầu A nối với cực âm của nguồn (hoặc máy thu điện). Dấu Σ có nghĩa là tổng đại số các đại lượng tương ứng.

3. Phương pháp Kiếcsốp (Kirchhoff)

a) Xét một mạch điện phức tạp (Hình 5.15). *Nút mạch* (gọi tắt là nút) là điểm gặp nhau của ít nhất ba dây dẫn (như các nút A, B, C, D). *Mắt mạch* (hay mạch vòng) là một mạch kín được tưởng tượng tách ra từ mạch điện đang khảo sát (như các mắt ABD, BDC...).



Hình 5.15

b) *Các định luật Kiếcsốp* (suy ra từ định luật Ôm tổng quát và định luật bảo toàn điện tích).

Định luật 1: Tổng đại số các cường độ dòng điện tại mỗi nút bằng không: $\Sigma I_k = 0$. (Quy ước: đánh dấu "+" cho các dòng điện đi tới nút, và đánh dấu "-" cho các dòng điện đi khỏi nút).

Định luật 2: Trong mỗi mắt mạch (mạch vòng) tổng đại số các suất điện động (và suất phản điện) bằng tổng đại số các độ giảm điện thế: $\sum_k \mathcal{E} = \sum I_k R_k$

(Quy ước về dấu: chọn một chiều đi f bất kì dọc theo mắt mạch, thì dấu "+" ứng với suất điện động $\mathcal{E}_k$ của nguồn mà chiều f đi từ cực âm đến cực dương của nó; I_k mang dấu "+" nếu dòng điện cùng với chiều f trên mắt mạch, và ngược lại, chẳng hạn, với mạch điện trên hình 5.15:

+ Tại nút B: $I_1 + I_5 - I_2 = 0$

+ Với mắt mạch ABD: $\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_4 - \mathcal{E}_5 = I_1 R_1 - I_4 R_4 - I_5 R_5$

c) **Cách giải bài toán mạch điện theo phương pháp Kiếcsốp:** Theo các bước sau đây:

+ Nếu chưa biết chiều dòng điện trên các đoạn mạch thì ta giả thiết chiều cho dòng điện đó (như vẽ trên hình 5.15). Nếu chưa biết cách mắc các cực của nguồn hay của máy thu thì giả thiết một cách mắc nào đó.

+ Lập các phương trình về nút. Nếu có n nút thì ta có thể lập được $n - 1$ phương trình về nút.

+ Chọn cho mỗi mắt mạch một chiều dương f đi dọc theo mắt đó, chiều f trên các mắt mạch là độc lập với nhau. Nếu bài toán có m ẩn số (m đại lượng chưa biết, cần tìm) thì chỉ cần lập $m - n + 1$ phương trình cho mắt. Các phương trình này phải độc lập với nhau. Muốn vậy trong các mắt mà ta chọn để lập phương trình, mỗi mắt phải có ít nhất một đoạn mạch không tham gia vào các mắt khác.

+ Giải hệ phương trình bậc nhất đã thu được

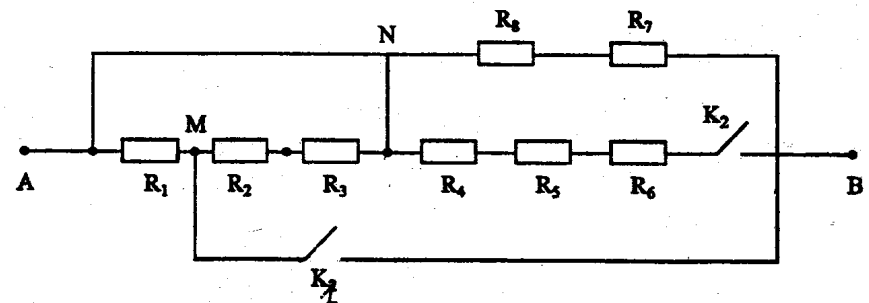
+ **Biện luận:** Nếu kết quả tính toán cho ta giá trị dương của cường độ dòng điện, thì chiều đã giả định của dòng điện là đúng; còn nếu tìm được giá trị âm của dòng điện thì chiều của dòng điện thực là ngược với chiều của dòng điện đã giả định. Tương tự, nếu suất điện động cần tìm lại có giá trị âm thì nguồn điện được mắc ngược lại với cách mắc đã giả định.

4. Phương pháp điện thế nút

Trong phương pháp này, khi giải bài toán về mạch điện, hệ phương trình được thiết lập từ các phương trình về nút (giống như phương pháp Kiếcsốp) và các phương trình cho các đoạn mạch giữa các nút. Các phương trình cho đoạn mạch chính là biểu thức của định luật Ôm tổng quát viết cho các đoạn mạch không phân nhánh nằm giữa các nút. Vì ta chỉ quan tâm đến hiệu điện thế giữa các nút, nên ta có thể chọn gốc tính điện thế là điện thế ở một nút bất kì nào, nghĩa là đặt điện thế các nút đó bằng không. Nhờ vậy số ẩn số về điện thế giảm đi một. Giải hệ phương trình ta tìm được các điện thế tại các nút còn lại, nhờ đó tìm được lời giải của bài toán. Phương pháp điện thế nút thường hay được dùng cho các mạch điện có chứa ít nút.

II. BÀI TẬP THÍ DỤ

1. **Thí dụ 1.** Cho đoạn mạch AB có tám điện trở $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7, R_8$, có trị số đều bằng $R = 21\Omega$, mắc theo sơ đồ như ở hình 5.16



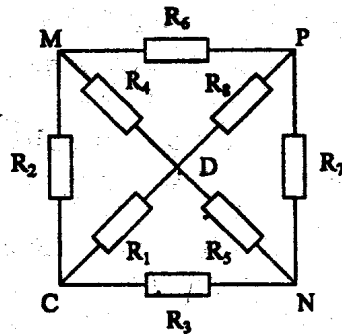
Hình 5.16

1- Tính điện trở tương đương của đoạn mạch AB trong các trường hợp:

- Khóa K_1 và K_2 đều mở
- Khoá K_1 mở K_2 đóng

- c) K_1 đóng, K_2 mở
d) K_1 và K_2 đều đóng

2- Người ta mắc lại tám điện trở nói trên thành đoạn mạch CD theo sơ đồ như ở hình 5.17. Tính điện trở tương đương của đoạn mạch CD. Điện trở các dây nối không đáng kể.

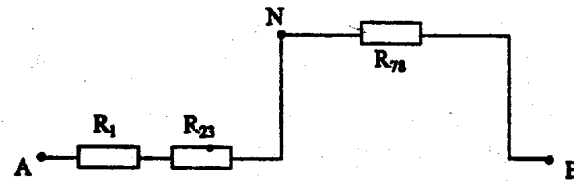


Hình 5.17

A. Lời giải.

1- Điện trở tương đương R_{AB} của đoạn mạch AB: Ta có $R_1 = R$; $R_{23} = 2R$; $R_{456} = 3R$; $R_{78} = 2R$

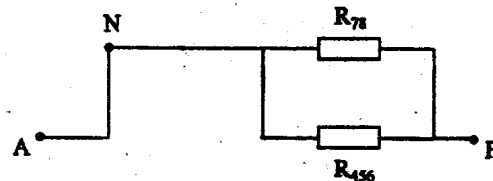
a) K_1 , K_2 mở: Đoạn mạch có sơ đồ sau (hình 5.18). Ta thấy R_1 và R_{23} mắc song song với đoạn dây dẫn AN có điện trở coi như bằng không, vì vậy điện trở



Hình 5.18

tương đương của đoạn mạch AN cũng bằng không (theo công thức tính điện trở tương đương của hai điện trở mắc song song). Từ đó: $R_{AB} = R_{78} = 2R = 42\Omega$ (Nếu cho dòng điện chạy qua đoạn mạch AB thì dòng điện chỉ qua dây AN và R_7 , R_8 mà không qua R_1 , R_2 , R_3).

b) K_1 mở, K_2 đóng: Ta có sơ đồ như ở hình 5.19

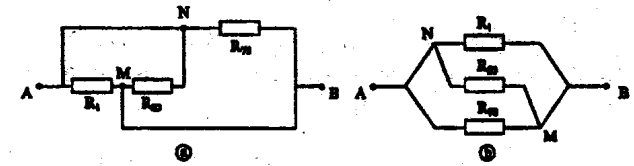


Hình 5.19

$$R_{AB} = R_{4567} = \frac{R_{78} \cdot R_{456}}{R_{456} + R_{78}} = \frac{2R \cdot 3R}{3R + 2R} = 1,2R = 25,2\Omega$$

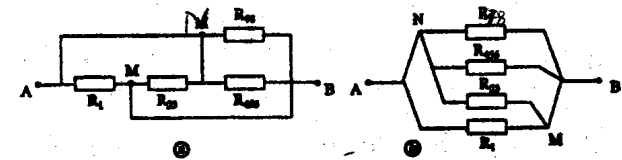
c) K_1 đóng và K_2 mở: Do có dây nối MB nên R_1 , R_{23} không còn mắc nối tiếp nhau và song song với dây AN nữa. Ba điện trở R_1 , R_{23} , R_{78} mắc song song với nhau (Hình 5.20) vì mỗi điện trở đều được dây nối đến A, B. Mạch điện được vẽ lại như ở hình 5.20b. Ta có:

$$\frac{1}{R_{AB}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{23}} + \frac{1}{R_{78}} = \frac{2}{R} \rightarrow R_{AB} = \frac{R}{2} = 10,5\Omega$$



Hình 5.20

d) K_1 và K_2 đóng: Lập luận tương tự như trên, mạch điện có sơ đồ như ở hình 5.21. Ta

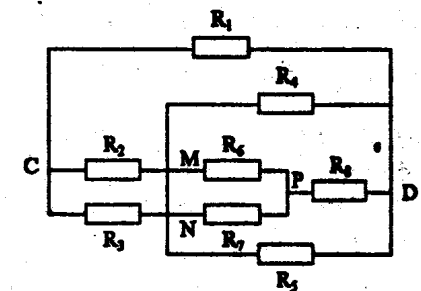


Hình 5.21

có R_1 , R_{23} , R_{456} , R_{78} mắc song song vì cùng được dây nối đến A, B.

$$\frac{1}{R_{AB}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{23}} + \frac{1}{R_{456}} + \frac{1}{R_{78}} = \frac{7}{3R} \rightarrow R_{AB} = \frac{3R}{7} \rightarrow R_{AB} = 9\Omega$$

2- Ta thấy mạch điện CD có tính đối xứng trục qua đường thẳng AB (vì tám điện trở như nhau), nghĩa là khi quay mạch điện CD quanh trục CD một góc 180° , cấu tạo của mạch không thay đổi. Các điểm đối xứng của mạch sẽ có điện thế giống nhau (khi ta đặt vào CD một hiệu điện thế), và do đó khi tính điện trở ta có thể chấp chúng làm một (ở đây là M và N).



Hình 5.22

Khi chập hai điểm đối xứng M và N lại ta có thể vẽ lại mạch điện CD như ở hình 5.22. Các điện trở của mạch điện được mắc theo sơ đồ:

$$\{[(R_7 // R_6) \text{ nt } R_8] // R_4 // R_5\} \text{ nt } (R_2 // R_3) // R_1$$

Ta có: $R_{67} = \frac{R}{2}, R_{678} = \frac{3R}{2}$

$$\frac{1}{R_{MPD}} = \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_{678}} + \frac{1}{R_5} = \frac{8}{3R} \rightarrow R_{MPD} = \frac{3R}{8}$$

$$R_{23} = \frac{R}{2} \cdot R_{CMPD} = \frac{3R}{8} + \frac{R}{2} = \frac{7R}{8}$$

Từ đó $\frac{1}{R_{CD}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{CMPD}} = \frac{15}{7R} \rightarrow R_{CD} = \frac{7R}{15} = 9,8\Omega$

B. Chú ý: Đây là loại bài toán thường gặp về tính điện trở của mạch điện.

1) Nếu đoạn mạch có cấu tạo đơn giản, có thể nhìn thấy ngay cách mắc các điện trở trong đoạn mạch và nhận biết ngay các điện trở mắc song song, các điện trở mắc nối tiếp. Khi đó dựa vào các công thức tính điện trở tương đương của đoạn mạch nối tiếp và của đoạn mạch song song có thể tính ngay được điện trở của mạch điện. Đơn giản hơn nữa là tính điện trở của một đoạn dây dẫn cho biết chiều dài, tiết diện dây và điện trở suất; khi đó chỉ cần áp dụng công thức

$$R = \rho \frac{l}{S}, \text{ theo công thức này nếu cho biết ba trong số bốn}$$

đại lượng R, ρ, l, S ta tính được đại lượng thứ tư (cần đặc biệt chú ý đến các đơn vị đo khi tiến hành tính toán bằng số). Nếu nhiệt độ dây dẫn thay đổi thì điện trở được xác định theo công thức:

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t) \text{ (nói rõ trong đề bài).}$$

2) Nếu đoạn mạch có cấu tạo phức tạp thì khi tính điện trở của mạch cần vẽ lại sơ đồ mắc điện trở trong mạch như sau:

a) Nếu đề bài không ghi kí hiệu các điểm nút của mạch (là điểm giao nhau của ít nhất ba dây dẫn) thì đánh số các điểm nút đó bằng kí hiệu. Nếu dây nối có điện trở không đáng kể (đề bài luôn luôn giả thiết như vậy) thì hai đầu dây nối chỉ ghi bằng một kí hiệu chung.

b) Sau đó tìm trong mạch các điểm có cùng điện thế. Đó là: các điểm nối với nhau bằng một dây dẫn có điện trở không đáng kể; hoặc là hai điểm nối với nhau qua một ampe kế có điện trở không đáng kể ($R_A \approx 0$, đại đa số các bài toán đều giả thiết như vậy); hoặc là các điểm đối xứng của mạch (trong trường hợp mạch có cấu tạo đối xứng, đối xứng qua một điểm hoặc đối xứng qua một trục).

Trên cơ sở đó nhập (chập) hai điểm có cùng điện thế làm một và ghi điểm chập m với bằng cả hai kí hiệu đã có của chúng.

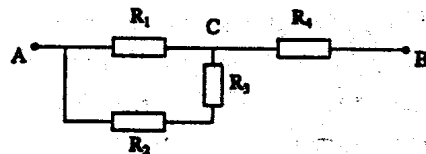
c) Vẽ lại sơ đồ mạch điện bằng cách: Trước tiên vẽ các điểm nút (bao gồm cả các điểm chập lại) và hai điểm đầu mạch, sau đó lần lượt vẽ các điện trở của mạch nối giữa các điểm đó (dựa vào sơ đồ của đề bài), từ điện trở đầu đến điện trở cuối. Sẽ có tình huống là một (hoặc một số) điện trở ở sơ đồ của đề bài lại không có mặt trong sơ đồ vẽ lại (như trường hợp ở thí dụ trên). Cần chú ý vẽ lại cho đúng để đảm bảo lời giải được chính xác. Trong sơ đồ vẽ lại để tính điện trở, không cần vẽ: tụ điện (nếu có), hoặc vôn kế có điện trở rất lớn ($R_v = \infty$), hoặc đoạn mạch có khoá K để hở hay có điện trở hở một đầu (đoạn mạch hở); hoặc điện trở bị nối tắt (hai đầu nối với nhau bằng dây dẫn có điện trở không đáng kể).

Sau đó phân tích sơ đồ vẽ lại để xác định xem các điện trở mắc với nhau như thế nào, và dùng kí hiệu để miêu tả cách mắc các điện trở (như đã làm ở thí dụ trên); từ đó lần lượt tính điện trở từng phần đoạn mạch, suy ra điện trở của các đoạn mạch.

3. Cũng có trường hợp, để tính điện trở, cần dựa vào định luật Ôm, theo công thức $R = \frac{U}{I}$, hoặc mạch có cấu tạo đặc biệt (mạch cân có điện trở cân bằng). Các trường hợp này sẽ xét ở các thí dụ sau.

C. Bài tập tương tự: 5.1 (xem III. Bài tập luyện tập).

2. Thí dụ 2. Bốn điện trở R_1, R_2, R_3, R_4 ($R_1 = R_2 = R_3 = 3R_4 = 3\Omega$) được mắc vào đoạn mạch AB có sơ đồ như ở hình 5.23. Đặt vào hai đầu của đoạn mạch một hiệu điện thế: $U_{AB} = 9V$.



Hình 5.23

a) Nối D và B bằng một vôn kế có điện trở rất lớn. Tính cường độ dòng điện qua các điện trở và số chỉ của vôn kế.

b) Tháo vôn kế đi và nối D và B bằng một ampe kế có điện trở rất nhỏ. Tính hiệu điện thế trên các điện trở. Tìm số chỉ của ampe kế và chiều của dòng điện qua ampe kế.

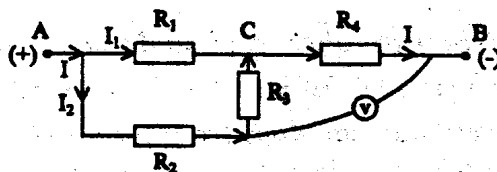
A. Lời giải.

a) Do vôn kế có điện trở rất lớn nên dòng điện qua vôn kế coi như không đáng kể, và các điện trở trong mạch mắc theo sơ đồ sau đây: $[(R_2 \text{ nt } R_3) // R_1] \text{ nt } R_4$.

Tính điện trở của mạch: $R_{23} = R_2 + R_3 = 6\Omega$;

$$R_{123} = \frac{R_1 \cdot R_{23}}{R_1 + R_{23}} = 2\Omega ; R_{AB} = R_{123} + R_4 = 2 + 1 = 3\Omega$$

Chiều các dòng điện như trên hình 5.24 (đi từ điểm có điện thế cao đến điện thế thấp). Cường độ dòng điện mạch chính (cũng là dòng điện qua R_4):



Hình 5.24

$$I = I_4 = \frac{U_{AB}}{R_{AB}} = \frac{9}{3} = 3A$$

Từ đó: $U_{AC} = U_1 = I \cdot R_{123} = 3 \cdot 2 = 6V$

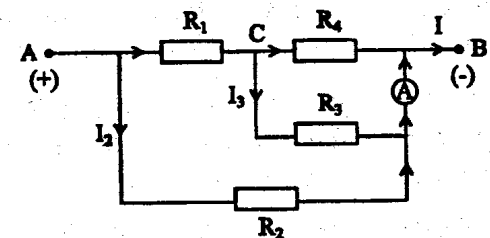
$$U_{CB} = U_4 = I \cdot R_4 = 3 \cdot 1 = 3V$$

Suy ra $I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{6}{3} = 2A$; $I_2 = I_3 = \frac{U_{AC}}{R_2 + R_3} = \frac{6}{3+3} = 1A$

$$U_{DC} = U_3 = I_3 R_3 = 1 \cdot 3 = 3V$$

và $U_{DB} = U_{DC} + U_{CB} = 3 + 3 = 6V$. Vôn kế chỉ 6V.

b) Do ampe kế có điện trở rất nhỏ ($R_A \approx 0$) nên hai điểm D và B coi như được nối bằng dây dẫn, mạch điện được vẽ lại như ở hình 5.25. Các điện trở được mắc theo sơ đồ: $[(R_3 // R_4) \text{ nt } R_1] // R_2$



Hình 5.25

Tính điện trở của mạch:

$$R_{34} = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} = \frac{3 \cdot 3}{3 + 3} = 1,5\Omega ; R_{134} = R_1 + R_{34} = 3,75\Omega$$

Chiều các dòng điện qua các điện trở như trên hình 5.25.

Cường độ dòng điện qua R_1 và R_{34} : $I_1 = I_{34} = \frac{U_{AB}}{R_{134}} = 2,4A$

Từ đó $U_1 = R_1 \cdot I_1 = 3 \cdot 2,4 = 7,2V$; $U_3 = U_4 = I_{34} R_{34} = 1,8V$;

$$I_3 = \frac{U_3}{R_3} = 0,6A$$

Ta có $U_2 = U_{AB} = 9V$, và cường độ dòng điện qua R_2 là:

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{9}{3} = 3A$$

Tại nút D, Ta có: $I_A = I_2 + I_3 = 3 + 0,6 = 3,6A$. Ampe kế chỉ 3,6A. Chiều dòng điện qua ampe kế từ D đến B.

Ghi chú: Ta cũng có $I_A = I - I_4$ với $I = I_1 + I_2 = 5,4 A$,

$$I_4 = \frac{U_4}{R_4}$$

B. Chú ý: Đây là loại bài toán áp dụng định luật Ôm cho đoạn mạch: $I = \frac{U}{R}$ hoặc $U = IR$. Để giải được bài toán, trước hết phải biết được các điện trở trong mạch mắc với nhau như thế nào, để từ đó có thể tính được điện trở của từng phần đoạn mạch cũng như của cả đoạn mạch.

Nếu đề bài cho biết các giá trị của các điện trở thì, nếu biết hiệu điện thế của cả đoạn mạch ta tìm được các dòng điện qua các điện trở.

Chiều cụ thể của dòng điện được xác định theo quy tắc: dòng điện chạy từ điểm có điện thế cao đến điểm có điện thế thấp hơn; Nếu đề bài cho $U_{AB} = 9V$ chẳng hạn thì có nghĩa là điện thế của điểm A là lớn nhất (thường ghi cạnh điểm A dấu +), còn điện thế tại điểm B là nhỏ nhất (thường ghi cạnh điểm B dấu -), và các dòng điện trong mạch chạy theo hướng từ A đến B, từ đó suy ra dòng điện chạy trong các mạch rẽ và chạy qua các máy đo (vôn kế, ampe kế). Để biết vôn kế, ampe kế phải mắc vào mạch như thế nào, cần chú ý rằng dòng điện chạy từ đầu + sang đầu - của ampe kế, và cực (đầu) dương của vôn kế phải mắc vào điểm có điện thế cao hơn. Trong khi tính toán, tùy theo tình huống có thể áp dụng định luật Ôm

dưới dạng $I = \frac{U}{R}$ hoặc $U = IR$. Số chỉ của vôn kế là hiệu

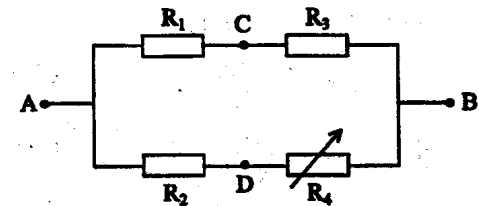
điện thế ở hai đầu vôn kế; còn số chỉ của ampe kế là cường độ dòng điện đi qua ampe kế. Để tìm cường độ dòng điện qua ampe kế, nhiều khi phải xác định được rõ chiều và cường độ các dòng điện tại nút nối với ampe kế (như ở thí dụ trên) để từ đó suy ra dòng qua ampe kế là dòng nào.

2. Ngoài các bài toán thuận, như ở thí dụ trên, còn có các bài toán ngược: cần tìm giá trị của một hoặc một số điện thế, hoặc phải tìm hiệu điện thế đặt vào mạch...

3. Cần chú ý rằng nếu dòng điện chạy từ A sang B thì $U_{AB} = -V_{AB} = -RI$.

C. Bài tập tương tự: 5.2 (xem III. Bài tập luyện tập)

3. Thí dụ 3. Cho mạch điện có sơ đồ như ở hình 5.26 cho biết $R_1 = 4\Omega$; $R_2 = R_3 = 6\Omega$; R_4 là một biến trở. Đặt vào hai đầu mạch điện một hiệu điện thế $U_{AB} = 33V$.



Hình 5.26

1) Mắc vào C, D một ampe kế có điện trở rất nhỏ không đáng kể và điều chỉnh R_4 để $R_4 = 14\Omega$. Tìm số chỉ ampe kế và chiều của dòng điện qua ampe kế.

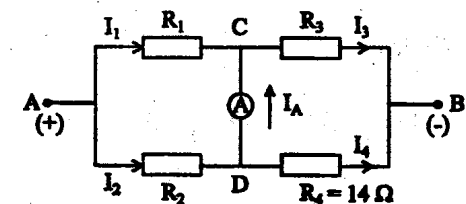
2) Thay ampe kế bằng một vôn kế có điện trở rất lớn.

a) Tìm số chỉ vôn kế. Cho biết cực dương của vôn kế phải mắc vào điểm nào.

b) Điều chỉnh R_4 cho đến khi vôn kế chỉ số 0. Tìm hệ thức giữa các điện trở R_1 , R_2 , R_3 và R_4 và tính R_4 khi đó. Nếu thay vôn kế bằng một điện trở $R_5 = 10\Omega$ thì cường độ dòng điện qua các điện trở và qua mạch chính thay đổi thế nào.

A. Lời giải.

1) Mạch điện có sơ đồ như ở hình 5.27. Vì $R_A \approx 0$ nên có thể chấp các điểm C, D làm một và các điện trở mắc theo sơ đồ sau: $(R_1 // R_2)$ nt $(R_3 // R_4)$



Hình 5.27

Ta có: $R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 2,4\Omega$; $R_{34} = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} = 4,2\Omega$

$R_{AB} = R_{12} + R_{34} = 6,6\Omega$; $I = \frac{U_{AB}}{R_{AB}} = 5A$

Chiều các dòng điện qua các điện trở như trên hình 5.27. Để tìm dòng điện qua ampe ta tính I_1 và I_3 (hoặc I_2 và I_4).

Ta có: $U_{AC} = U_1 = U_2 = IR_{12} = 12V$

$U_{CB} = U_3 = U_4 = IR_{34} = 21V$,

từ đó: $I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{12}{4} = 3A$; $I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{21}{6} = 3,5A$

Ta thấy $I_3 > I_1$, do đó tại nút C phải có $I_3 = I_1 + I_A$ nghĩa là dòng điện chạy qua ampe kế theo chiều từ D đến C như trên hình 5.27 và số chỉ ampe kế là:

$I_A = I_3 - I_1 = 0,5A$

2) a) Vì vôn kế có điện trở rất lớn nên $I_1 = I_3$, $I_2 = I_4$ và các điện trở mắc theo sơ đồ: $(R_1 \text{ nt } R_3) // (R_2 \text{ nt } R_4)$.

Ta có $I_1 = I_3 = \frac{U_{AB}}{R_1 + R_3}$; $I_2 = I_4 = \frac{U_{AB}}{R_2 + R_4}$

$U_A = U_1 = I_1 \cdot R_1 = U_{AB} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_3}$;

$U_A = U_2 = I_2 \cdot R_2 = U_{AB} \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_4}$;

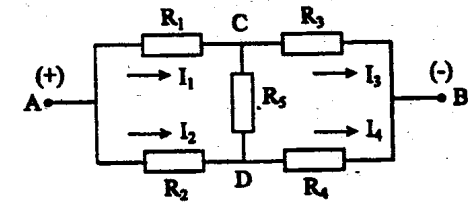
Từ đó:

$U_{CD} = U_{CA} + U_{AD} = U_{AD} - U_{AC} = U_{AB} \left(\frac{R_2}{R_2 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_3} \right)$

$\rightarrow U_{CD} = U_{AB} \frac{(R_2 R_3 - R_1 R_4)}{(R_2 + R_4)(R_1 + R_3)}$

Thay số ta được $U_{DC} = -3,3V$, nghĩa là $V_C < V_D$: vôn kế chỉ $U_V = 3,3V$ và cực dương vôn kế mắc vào điểm D.

b) Muốn cho vôn kế chỉ số 0, phải có



Hình 5.29

$U_{CD} = 0$, suy ra $R_2 R_3 = R_1 R_4$ hay $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$ (1).

Từ đó $R_4 = \frac{R_2 R_3}{R_1} = \frac{6,6}{4} = 9\Omega$

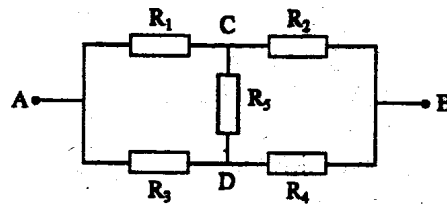
Khi đó nếu thay vôn kế bằng điện trở R_5 (xem hình 5.28) thì cường độ dòng điện qua điện trở R_5 bằng không $I_5 = 0$, và cường độ dòng điện qua các điện trở và qua mạch chính giữ nguyên không thay đổi. Ta có mạch cầu cân bằng.

B. Chú ý: Đây là loại bài toán về mạch cầu điện trở. Để giải bài toán chỉ cần áp dụng định luật Ôm và các phương trình về hiệu điện thế (với chú ý rằng $U_{AC} = -U_{CA}$ chẳng hạn). Cũng thường xảy ra trường hợp mạch cầu điện trở cân bằng, khi đó $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$ (1) $\leftrightarrow I_5 = 0$.

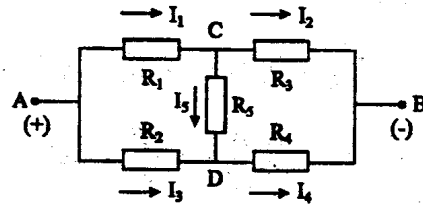
Do đó khi trong đề bài cho mạch điện là mạch cầu (hoặc một phần mạch điện là mạch cầu) thì nên kiểm tra xem có tồn tại hệ thức (1) hay không; khi đó có thể kết luận ngay rằng $I_5 = 0$, và tính điện trở tương đương của mạch cầu, chỉ cần hoặc là chập C và D làm một (vì $V_C = V_D$), hoặc bỏ điện trở R_5 đi (vì $I_5 = 0$). Trong mạch cầu có thể có các tụ điện; khi đó để tính toán các đại lượng liên quan đến tụ điện chỉ cần áp dụng các phương pháp nêu ra của chủ đề tĩnh điện học.

C. Bài tập tương tự: 5.3 (Xem III. Bài tập luyện tập)

4. **Thí dụ 4.** Cho mạch điện có sơ đồ như trên hình 5.30. Cho biết $R_1 = 5\Omega$; $R_2 = 2\Omega$; $R_3 = 10\Omega$; $R_4 = 30\Omega$; $R_5 = 5\Omega$; $U_{AB} = 15V$. Tính cường độ dòng điện qua mỗi điện trở và điện trở tương đương của đoạn mạch AB.



Hình 5.30



Hình 5.31

A. Lời giải: Giả sử dòng điện qua R_5 có chiều như trên hình 5.31. Áp dụng phương pháp điện thế nút: Tại các nút C và D ta có:

$$I_1 = I_2 + I_5; \quad I_4 = I_3 + I_5 \quad (1)$$

Theo đề bài

$$U_{AB} = V_A - V_B = U = 15V$$

Chọn $V_B = 0$, từ đó $V_A = U$. Áp dụng định luật Ôm ta có:

$$I_1 = \frac{V_A - V_C}{R_1} = \frac{U - V_C}{5}; \quad I_2 = \frac{V_C - V_B}{R_2} = \frac{V_C}{2}$$

$$I_3 = \frac{V_A - V_D}{R_3} = \frac{U - V_D}{10}; \quad I_4 = \frac{V_D - V_B}{R_4} = \frac{V_D}{30};$$

$$I_5 = \frac{V_C - V_D}{R_5} = \frac{V_C - V_D}{5}$$

Thay vào (1) ta có hai phương trình:

$$\frac{U - V_C}{5} = \frac{V_C}{2} + \frac{V_C - V_D}{5}; \quad \frac{V_D}{30} = \frac{U - V_D}{10} + \frac{V_C - V_D}{5}; \quad (3)$$

$$\text{Suy ra } 9V_C - 2V_D = 2U; \quad 10V_D - 6V_C = 3U \quad (4)$$

$$\text{Giải ra ta được: } V_C = \frac{U}{3} = 5V; \quad V_D = \frac{U}{2} = 7,5V;$$

$$\text{Từ đó, thay vào (2) ta được } I_1 = 2A; \quad I_2 = 2,5A; \quad I_3 = 0,75A; \quad I_4 = 0,25A; \quad I_5 = 0,5A.$$

$$\text{Cường độ dòng điện mạch chính: } I = I_1 + I_3 = 2,75A$$

$$\text{Điện trở tương đương của mạch AB: } R_{AB} = \frac{U}{I} = 5,45\Omega.$$

B. Chú ý: Đây là loại bài toán về mạch cầu không cân bằng, với loại bài này thuận tiện nhất là giải bằng phương pháp điện thế nút. Vì theo đề bài điện thế của hai nút A và B là đã biết (vì đặt $V_B = 0$) nên chỉ cần lập hai phương trình để xác định điện thế của hai nút còn lại, C và D. Nếu không dùng phương pháp điện thế nút, thì ngoài hai phương trình (1), còn phải lập ba phương trình về hiệu điện thế nữa (vì có 5 ẩn số); đó là các phương trình:

$$U_{AB} = U_{AC} + U_{CB} \rightarrow I_1 R_1 + I_2 R_2 = U;$$

$$U_{AB} = U_{AD} + U_{DB} \rightarrow U = I_3 R_3 + I_4 R_4;$$

$$\text{và } U_{AB} = U_{AC} + U_{CD} + U_{DB} \rightarrow U = I_1 R_1 + I_5 R_5 + I_4 R_4;$$

Lẽ dĩ nhiên giải năm phương trình đó sẽ khó khăn hơn nhiều.

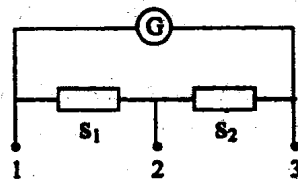
Dựa vào phương pháp điện thế nút có thể tìm được điện trở tương đương của mạch cầu (không thể tìm được bằng cách khác); khi đó giả thiết $U_{AB} = U$ đã cho trước, tính I ,

$$\text{từ đó suy ra } R = \frac{U}{I}$$

C. Bài tập tương tự: 5.4 (xem III. Bài tập luyện tập)

5. Thí dụ 5. Một ampe kế có cấu tạo như trên hình vẽ 5.32. Nếu sử dụng hai chốt 1-2 ampe kế đo được cường độ dòng điện tối đa là $I_1 = 1A$; Nếu sử dụng hai chốt 2-3 thì cường độ dòng điện tối đa đo được là $I_2 = 4A$. Hỏi nếu dùng hai chốt 1-3 thì ampe kế đo được cường độ dòng điện tối đa I_3 bằng bao nhiêu.

A. Lời giải. Gọi g, s_1, s_2 là điện trở của điện kế và của các sơ như trên hình 5.32. Khi sử dụng hai chốt 1 và 2, các điện trở trong ampe kế mắc theo sơ đồ: (g nt s_2) // s_1 , và cường độ dòng điện tối đa qua ampe kế là:



Hình 5.32

$$\frac{I_1}{I_g} = 1 + \frac{g + s_2}{s_1} \rightarrow I_1 = \left(\frac{g + s_1 + s_2}{s_1} \right) I_g \quad (1)$$

với I_g là cường độ dòng điện tối đa qua điện kế G.

Khi sử dụng hai chốt 2 và 3, các điện trở trong ampe kế mắc theo sơ đồ: (g nt s_1) // s_2 , và cường độ dòng điện tối đa qua ampe kế là:

$$\frac{I_2}{I_g} = 1 + \frac{g + s_1}{s_2} \rightarrow I_2 = \left(\frac{g + s_1 + s_2}{s_2} \right) I_g \quad (2)$$

Nếu sử dụng hai chốt 1-3, các điện trở trong ampe kế mắc theo sơ đồ: g // (s_1 nt s_2), và cường độ dòng điện tối đa qua ampe kế là:

$$\frac{I_3}{I_g} = 1 + \frac{g}{s_1 + s_2} \rightarrow I_3 = \left(\frac{g + s_1 + s_2}{s_1 + s_2} \right) I_g \quad (3)$$

Từ (1), (2), (3) ta có $\frac{1}{I_3} = \frac{1}{I_1} + \frac{1}{I_2}$, suy ra

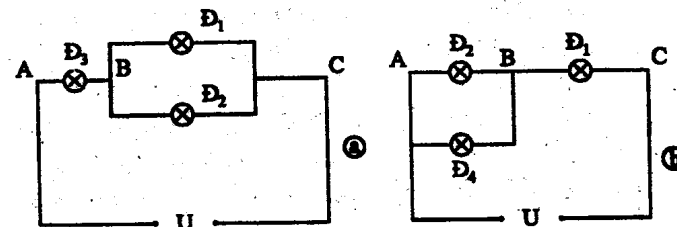
$$I_3 = \frac{I_1 I_2}{I_1 + I_2} = \frac{1.4}{1 + 4} = 0.8A$$

B. Chú ý: Đây là loại bài toán về mắc điện trở phụ cho các dụng cụ đo điện. Để giải bài toán chỉ cần phân tích kỹ đề bài xem các điện trở phụ được mắc như thế nào, sau đó áp dụng các công thức về mắc điện trở phụ cho dụng cụ điện. Cũng có thể có trường hợp ngược lại: từ yêu cầu mở rộng thang đo của ampe kế, vôn kế, cần xác định xem,

cần mắc điện trở phụ bằng bao nhiêu và mắc như thế nào? Nếu khi mắc thêm điện trở phụ khả năng đo của dụng cụ tăng lên bao nhiêu lần (hoặc giá trị của một vạch chia độ được tăng lên) thì độ nhạy (khả năng đo các giá trị nhỏ) của dụng cụ cũng bị giảm đi bấy nhiêu lần.

C. Bài tập tương tự: 5.5 (xem III. Bài tập luyện tập).

6. Thí dụ 6. Mắc hai bóng đèn D_1 (120V – 60W) và D_2 (120V – 45W) vào mạng điện có hiệu điện thế $U = 240V$ theo sơ đồ a và b (hình 5.33). Tìm hiệu điện thế và công suất định mức của hai đèn D_3 và D_4 để các đèn đều sáng bình thường.



Hình 5.33

A. Lời giải. Cường độ định mức của các đèn D_1 và D_2 là:

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1} = \frac{60}{120} = 0.5A; I_2 = \frac{P_2}{U_2} = \frac{45}{120} = 0.375A;$$

Theo sơ đồ a, muốn hai đèn D_1 và D_2 sáng bình thường ta phải có:

$$U_{BC} = 120V \text{ và } I_{d1} = 0.5A; I_2 = 0.375A.$$

Từ đó $U_{AB} = U_{d3} = 240 - 120 = 120V;$

$$I_{d3} = I_1 + I_2 = 0.875A,$$

do đó: $P_{d3} = U_{d3} \cdot I_{d3} = 105W$

Vậy đèn D_3 phải có hiệu điện thế định mức là 120V và công suất định mức là 105W.

Theo sơ đồ b, ta có: $U_{d4} = U_2 = 120V$;

$$I_{d4} = I_1 - I_2 = 0,15A,$$

từ đó

$$P_{d4} = U_{d4} \cdot I_{d4} = 15W$$

Vậy đèn D_4 phải có hiệu điện thế định mức là 120V và công suất định mức là 15W.

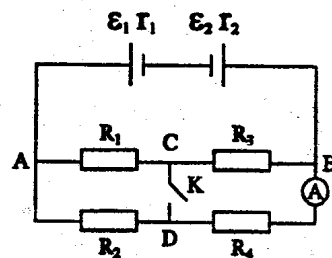
B. Chú ý: Đây là loại bài toán về máy thu điện. Trước khi vận dụng các công thức để tính toán cần phải phân biệt: đó là thiết bị (máy thu) chỉ tỏa nhiệt (như bóng đèn, bếp điện, bàn là...); hay đó là máy thu (như động cơ điện, acquy đang được nạp điện...), từ đó chọn các công thức thích hợp để vận dụng. Trong các bài toán thường hay đề cập đến công suất định mức, hiệu điện thế định mức (để xem thiết bị hoặc máy có hoạt động bình thường không). Riêng đối với trường hợp thiết bị chỉ tỏa nhiệt người ta thường xem rằng điện trở không phụ thuộc nhiệt độ: khi đó ta có công thức:

$$P = UI = \frac{U^2}{R}$$

Còn trong mọi trường hợp, luôn luôn có công thức $P = U \cdot I$

C. Bài tập tương tự: 3.6 (xem III. Bài tập luyện tập)

7. Thí dụ 7. Cho mạch điện như trên hình 5.34 cho biết $\varepsilon_1 = 8V$; $r_1 = 0,5\Omega$; $\varepsilon_2 = 2V$; $r_2 = 0,5\Omega$; $R_1 = 1\Omega$; $R_2 = R_3 = 3\Omega$. Biết rằng số chỉ của ampe kế A khi đóng khoá K bằng 9/5 số chỉ trên ampe kế khi ngắt K. Hãy tính:



Hình 5.34

a) Điện trở R_4 ;

b) Cường độ dòng điện qua K khi K đóng.

Bỏ qua điện trở của ampe kế, cả khoá K và của các dây nối.

A. Lời giải. Suất điện động và điện trở trong của bộ nguồn (hai nguồn mắc xung đối):

$$\varepsilon_b = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 = 6V ; r_b = r_1 + r_2 = 1\Omega$$

a) Xét khi K mở: Điện trở tương đương R của mạch ngoài:

$$R = \frac{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = \frac{4(3 + R_4)}{7 + R_4}$$

Cường độ dòng điện mạch chính (phát ra từ cực dương của nguồn ε_1):

$$I = \frac{\varepsilon_b}{R + r_b} = \frac{\varepsilon_b}{\frac{4(3 + R_4)}{7 + R_4} + 1} ; \text{ từ đó } U_{AB} = RI$$

Cường độ dòng điện qua ampe kế khi K mở:

$$I_A = I_2 = I_4 = \frac{U_{AB}}{R_2 + R_4} = \frac{(R_1 + R_3)I}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = \frac{4E}{19 + 5R_4} \quad (1)$$

Khi K đóng: Mạch điện có sơ đồ như ở hình 5.35. Có thể chấp C và D làm một. Điện trở tương đương mạch ngoài bây giờ bằng:

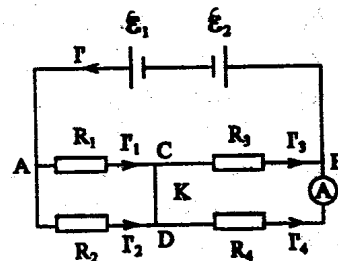
$$R' = \frac{R_1 R_2}{R_1} + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} = \frac{9 + 15R_4}{12 + 4R_4}$$

Cường độ dòng điện mạch chính

$$I' = \frac{\varepsilon_b}{R' + r_b} = \frac{E}{1 + \frac{9 + 15R_4}{12 + 4R_4}} \quad (2)$$

$$\text{Từ đó } U_{CB} = U_4 = I' \cdot \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}$$

$$\text{và } I_A = I_4 = \frac{U_4}{R_4} = \frac{R_3 I'}{R_3 + R_4} = \frac{12E}{21 + 19R_4} \quad (3)$$



Hình 5.35

Theo đề bài $I'_A = \frac{9}{5} I_A$, suy ra $\frac{12E}{21 + 19R_4} = \frac{9}{5} \cdot \frac{4E}{19 + 5R_4}$
 từ đó tìm được $R_4 = 1\Omega$, và $I'_A = 1,8A$.

b) Để tìm cường độ dòng điện I_K qua K khi K đóng ta chỉ cần tìm I'_2 . Thay R_4 vào (2) ta được $I' = 2,4A$; từ đó :

$$U_{CB} = U_2 = I' \cdot \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 1,8V, \text{ và } I'_2 = \frac{U_2}{R_2} = 0,6A < I'_4$$

Vậy dòng điện qua K có chiều từ C đến D và có cường độ

$$I_K = I'_4 - I'_2 = 1,2A.$$

B. Chú ý: Đây là loại bài toán về mạch điện kín. Để giải bài toán chỉ cần áp dụng định luật Ôm cho mạch kín. Trước hết, nếu trong mạch kín có nhiều nguồn điện thì cần xem các nguồn đó mắc với nhau như thế nào và tính suất điện động và điện trở trong của bộ nguồn theo các công thức đã biết (trong thí dụ trên ε_2 đóng vai trò máy thu). Tính điện trở mạch ngoài dựa vào sơ đồ mắc các điện trở; có thể xảy ra trường hợp một trong số các điện trở là chưa biết như trong thí dụ trên (khi đó đề bài sẽ cho dữ kiện để tính nó). Sau đó tính cường độ dòng điện mạch chính và tùy theo yêu cầu của đề bài, tính dòng điện qua các điện trở, hiệu điện thế trên các đoạn mạch, số chỉ các máy đo... Nếu trong một đoạn mạch nào đó ta chưa biết chiều dòng điện, thì ta giả thiết chiều đó và căn cứ vào kết quả tính được của dòng điện đó mà biết được chiều dòng điện thực. Nếu trong một đoạn mạch nào đó có tụ điện, hoặc vôn kế có điện trở rất lớn, thì không có dòng điện chạy qua. Trong một số trường hợp, ngoài công thức $U_n = RI$ như đã sử dụng trong thí dụ trên, để thuận tiện người ta còn dùng công thức $U_n = \varepsilon - rI$. Nói chung bài toán rất đa dạng, và với mạch ngoài ta có thể sử dụng các phương pháp tính toán như trong các thí dụ trên. Đôi khi người ta còn dùng phương pháp nguồn điện tương đương, xét trong bài tập 5.

C. Bài tập tương tự : 5.7 (xem III. Bài tập luyện tập).

8. Thí dụ 8. Cho mạch điện có sơ đồ như trên hình 5.36, cho biết $\varepsilon_1 = 16V$; $\varepsilon_2 = 5V$; $r_1 = 2\Omega$; $r_2 = 1\Omega$; $R_1 = 4\Omega$; Đèn Đ: $3V-3W$; $R_A \approx 0$. Biết đèn sáng bình thường và ampe kế chỉ số 0. Hãy tính các điện trở R_1 và R_3 .

A. Lời giải. Khi đèn sáng bình thường ta có $U_{DB} = U_d = 3V$, và cường độ dòng điện qua đèn là cường độ định mức:

$$I_d = \frac{P_d}{U_d} = 1A$$

$$\text{Điện trở của đèn } R_d = \frac{U_d^2}{P_d} = 3\Omega$$

Áp dụng định luật Ôm cho đoạn mạch $C\varepsilon_2 D$ ta có, vì $I_A = 0$,

$$U_{CD} = \varepsilon_2 - (r_2 + R_A)I_A = \varepsilon_2 = 5V$$

$$\text{Ta có: } U_{CB} = U_{CD} + U_{DB} = 5 + 3 = 8V$$

Từ đó, cường độ dòng điện qua R_2 là: $I_2 = \frac{U_{CB}}{R_2} = 2A$, và cường độ dòng điện qua ε_1 (mạch chính) là (xét tại nút B):

$$I = I_2 + I_d = 1 + 2 = 3A$$

Mặt khác cường độ dòng điện qua R_1 là $I_1 = I_2$, vì $I_A = 0$.

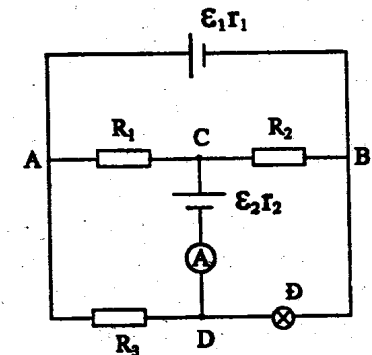
Áp dụng định luật Ôm cho đoạn mạch $A\varepsilon_1 B$:

$$U_{AB} = \varepsilon_1 - r_1 I = 10V$$

$$\text{Từ đó } U_{AC} = U_{AB} + U_{BC} = U_{AB} - U_{CB} = 2V = U_1;$$

$$U_{AD} = U_{AB} + U_{BD} = U_{AB} - U_{DB} = 7V = U_3;$$

Do đó, các điện trở R_1 và R_3 bằng :



Hình 5.36

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} = \frac{U_1}{I_2} = 1\Omega$$

$$R_3 = \frac{U_3}{I_3} = 7\Omega$$

B. Chú ý: Đây là loại bài toán áp dụng định luật Ôm cho các loại đoạn mạch. Khi vận dụng các công thức cần lưu ý đến chiều dòng điện trên đoạn mạch và đến cực của nguồn điện nối với 2 đầu đoạn mạch, để viết công thức cho đúng. Chẳng hạn như trong thí dụ trên, đối với đoạn mạch $A\varepsilon_1B$, ta cũng có thể viết:

$$U_{AB} = r_1 I - \varepsilon_1$$

Cũng có thể áp dụng phương pháp Kiếcsốp để giải bài toán này (hoặc phương pháp điện thế nút).

C. Bài tập tương tự: 5.8 (Xem III. Bài tập luyện tập)

9. Thí dụ 9. Cho mạch điện có sơ đồ như trong hình 5.37, cho biết: $\varepsilon_1 = 12,5V$; $r_1 = 1\Omega$; $\varepsilon_2 = 8V$; $r_2 = 0,5\Omega$; $R_1 = R_2 = 5\Omega$; $R_3 = R_4 = 2,5\Omega$; $R_5 = 4\Omega$; $R_A = 0,5\Omega$.

Tính cường độ dòng điện qua các điện trở và chỉ số của ampe kế.

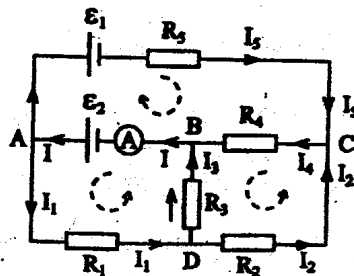
A. Lời giải. Áp dụng phương pháp Kiếcsốp, giả sử các dòng điện có chiều như trên hình 5.37.

Tại các nút A, B, D, C ta có:

$$I = I_1 + I_5 = I_3 + I_4 \quad (1);$$

$$I_1 = I_2 + I_3 \quad (2);$$

$$I_4 = I_2 + I_5 \quad (3);$$



Hình 5.37

Chọn chiều dương f cho các mắt mạng như trên hình vẽ (đường nét đứt có mũi tên), đối với các mắt ADB, $A\varepsilon$, CB và BCD ta có các phương trình:

$$\varepsilon_2 = R_1 I_1 + R_3 I_3 + (r_2 + R_A) I$$

$$\rightarrow 5I_1 + 2,5I_3 + I = 8 \quad (4);$$

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = (R_5 + r_1)I_5 + R_4 I_4 + (r_2 + R_A)I$$

$$\rightarrow 5I_5 + 2,5I_4 + I = 20,5 \quad (5);$$

$$0 = R_2 I_2 + R_4 I_4 - R_3 I_3 \rightarrow 5I_2 + 2,5I_4 - 2,5I_3 = 0 \quad (6)$$

$$\text{Từ (4) và (5) suy ra: } 2I + 5(I_1 + I_5) + 2,5(I_3 + I_4) = 28,5 \quad (7)$$

$$\text{Từ (7) và (1) ta được: } 9,5I = 28,5 \rightarrow I = 3A$$

$$\text{Từ (6), (1) và (2) ta suy ra: } (5I_1 - I_3) - 2,5(I - I_3) - 2,5I_3 = 0$$

$$\rightarrow 5I_1 - 10I_3 = -2,5I = -15 \quad (8)$$

$$\text{Từ (4) và (8) rút ra } I_3 = 1A, \text{ và } I_1 = 0,5A$$

$$\text{Từ đó } I_5 = I - I_1 = 2,5A; I_2 = I_1 - I_3 = -0,5A;$$

$$I_4 = I_2 + I_5 = 2A$$

Ta thấy $I_2 < 0$: chứng tỏ dòng điện I_2 chạy trên đoạn CD phải theo chiều từ C đến D; còn các dòng điện khác đều có chiều đúng như giả thiết. Số chỉ ampe kế là: $I_A = I = 3A$.

B. Chú ý: Đây là loại bài toán giải bằng phương pháp Kiếcsốp. Khi áp dụng các định luật Kiếcsốp cần tiến hành theo các bước như đã hướng dẫn và viết các phương trình cho đúng (chú ý đặc biệt đến dấu của các đại lượng theo quy ước). Cũng có thể giải bài toán bằng cách áp dụng định luật Ôm tổng quát hoặc phương pháp điện thế nút (nhưng rõ ràng thấy rằng dùng phương pháp Kiếcsốp thì gọn hơn).

C. Bài tập tương tự: 5.9 (Xem III. Bài tập luyện tập)

10. Thí dụ 10. Cho mạch điện có sơ đồ như trên hình 5.38. Cho biết $\varepsilon = 6V$; $r = 0,5\Omega$; $R_1 = 3\Omega$; $R_2 = 2\Omega$; $R_3 = 0,5\Omega$; $C_1 = C_2 = 0,2\mu F$. Hãy tính điện tích trên các bản tụ điện khi:

a) Ban đầu K ngắt;

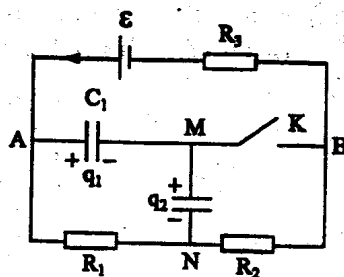
b) Sau đó K đóng. Tính số electron chuyển qua K và chiều di chuyển của chúng ngay sau khi đóng K.

Trước khi mắc vào mạch các tụ điện chưa tích điện.

A. Lời giải. Cường độ dòng điện trong mạch là:

$$I = \frac{E}{R_1 + R_2 + R_3 + r} = 1A$$

Hình 5.38



a) Khi K ngắt: Các tụ điện C_1 và C_2 được mắc nối tiếp vào giữa hai điểm A và N. Vì A nối với cực dương của nguồn điện nên các điện tích trên các bản tụ điện có dấu như trên hình 5.38. Điện dung tương đương của bộ tụ:

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = 0,1 \mu F$$

Điện tích của hai tụ điện C_1, C_2 là:

$$q_1 = q_2 = C \cdot U_{AN}, \text{ với } U_{AN} = 3V \rightarrow q_1 = q_2 = 0,3 \cdot 10^{-6}$$

b) Khi K đóng: Mạch điện có sơ đồ như ở hình 5.39. Khi đó có thể chập hai điểm M, B làm một, và xem như tụ điện C_1 được mắc vào giữa hai điểm A, B, còn tụ điện C_2 xem như mắc giữa hai điểm N, B. Điện tích trên các bản của các tụ điện có dấu như trên hình 5.39 (điểm B nối với cực âm của nguồn điện). Điện tích của các tụ điện bây giờ bằng:

$$q'_1 = C_1 \cdot U_{AB}, \text{ với } U_{AB} = I(R_1 + R_2) = 5V \rightarrow q'_1 = 10^{-6}C;$$

$$\text{và } q'_2 = C_2 \cdot U_{NB}, \text{ với } U_{NB} = IR_2 = 2V \rightarrow q'_2 = 0,4 \cdot 10^{-6}C;$$

Để tính lượng điện tích chuyển qua K ngay sau khi đóng K ta xét tổng điện tích trên các bản tụ điện nối với điểm M. Khi K ngắt, tổng điện tích trên các bản tụ điện nối với M bằng (hình 5.38):

$$Q = (-q_1) + q_2 = 0$$

Khi K đóng, tổng điện tích trên các bản tụ điện đó bằng (hình 5.39):

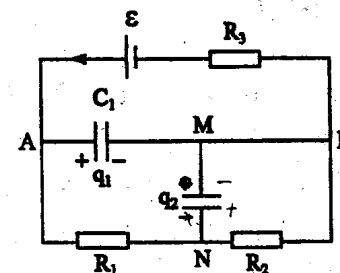
$$Q' = (-q'_1) + (-q'_2) = -1,4 \cdot 10^{-6}C$$

Lượng điện tích chuyển qua K (từ M về B) bằng:

$$\Delta Q = Q' - Q = -1,4 \cdot 10^{-6}C$$

Số electron đã chuyển qua K từ M đến B, ngay sau khi đóng K, bằng:

$$n = \frac{|\Delta Q|}{e} = 8,75 \cdot 10^{12} \text{ electron}$$



Hình 5.39

B. Chú ý: Đây là loại bài toán về mạch điện có tụ, đòi hỏi phải vận dụng các phương pháp trong các ví dụ đã nêu ở trên và trong các thí dụ về mạch tụ điện nêu trong chủ đề "Tĩnh điện học".

C. Bài tập tương tự: 5.10 (Xem III. Bài tập luyện tập)

11. Thí dụ 11. Một nguồn điện có suất điện động $\varepsilon = 30V$, điện trở trong r , dùng để thắp sáng đồng thời hai bóng đèn D_1, D_2 giống nhau và một bóng đèn D_3 . Người ta thấy rằng, để cả ba đèn sáng bình thường có thể tìm được hai cách mắc:

- Mắc hai đèn D_1, D_2 song song với nhau, rồi mắc nối tiếp chúng với D_3 vào nguồn;

- Mắc hai đèn D_1, D_2 mắc nối tiếp nhau, rồi mắc song song chúng với D_3 vào nguồn;

a) Hãy tính hiệu điện thế định mức của mỗi đèn;

b) Với một trong hai cách mắc trên, công suất toàn phần của nguồn là $P = 60W$. Tính cường độ định mức và công suất định mức của các bóng đèn, và tính điện trở trong r của nguồn.

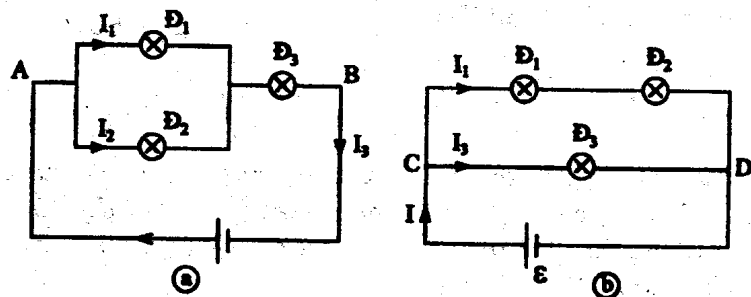
c) Tính hiệu suất của nguồn trong hai cách mắc trên; cách nào lợi hơn?

A. Lời giải.

a) Sơ đồ hai cách mắc trên hình 5.40. Vì hai đèn D_1 và D_2 giống nhau nên $I_1 = I_2$ và $U_1 = U_2$ ($I_1, I_2, I_3, U_1, U_2, U_3$ là các giá trị định mức của các đèn).

Từ sơ đồ a, suy ra: $I_3 = I_1 + I_2 = 2I_1 = 2I_2$;

Từ sơ đồ b, suy ra: $U_3 = U_1 + U_2 = 2U_1 = 2U_2$;



Hình 5.40

Áp dụng định luật Ôm cho sơ đồ a:

$$U_{AB} = U_1 + U_3 = \varepsilon - rI_3 \rightarrow$$

$$\frac{3U_3}{2} = \varepsilon - rI_3 \rightarrow rI_3 = \varepsilon - \frac{3U_3}{2} \quad (1)$$

Với sơ đồ b:

$$U_{CD} = U_3 = \varepsilon - rI = \varepsilon - r(I_1 + I_2) = \varepsilon - \frac{3}{2}rI \quad (2)$$

Từ (1) và (2) rút ra: $U_3 = 0,4$; $\varepsilon = 12V$

$$U_1 = U_2 = \frac{U_3}{2} = 6V$$

b) Xét sơ đồ a. Theo đề bài $P = \varepsilon I_3 = 60W$, suy ra $I_3 = \frac{P}{\varepsilon} = 2A$

Suy ra $I_1 = I_2 = \frac{I_3}{2} = 1A$

$$P_3 = U_3 I_3 = 12 \cdot 2 = 24W; P_1 = P_2 = U_1 I_1 = 6 \cdot 1 = 6W$$

Từ (1) rút ra $r = 6\Omega$

Xét sơ đồ b. $P = \varepsilon I = \varepsilon \frac{(3I_3)}{2} \rightarrow I_3 = \frac{2P}{3\varepsilon} = \frac{4}{3}A$

Từ đó $P_3 = U_3 I_3 = 12 \cdot \frac{4}{3} = 16W$; $P_1 = P_2 = U_1 \cdot \frac{I_3}{2} = 4W$

Từ (1) rút ra $r = 9\Omega$

c) Hiệu suất của nguồn trong hai cách mắc là:

$$H_a = \frac{U_{AB}}{\varepsilon} = \frac{\frac{3}{2}U_3}{\varepsilon} = 0,6 = 60\%;$$

$$H_b = \frac{U_{CD}}{\varepsilon} = \frac{U_3}{\varepsilon} = 0,4 = 40\%;$$

Nên chọn cách mắc theo sơ đồ a vì có hiệu suất cao hơn.

B. Chú ý: Đây là loại bài toán về hiệu suất của nguồn điện, khi ở mạch ngoài có mắc các bóng đèn (và nói chung là các điện trở). Vấn đề đặt ra là chọn cách mắc (chọn loại đèn và mắc như thế nào) hoặc chọn bóng đèn (hoặc giá trị của điện trở) sao cho có hiệu suất cao hơn, hoặc sao cho có hiệu suất lớn nhất. Cũng có trường hợp phải tìm điều kiện để công suất tiêu thụ ở một bóng đèn, hoặc một điện trở là lớn nhất; trong trường hợp đó, tìm biểu thức tính công suất tiêu thụ dựa vào các dữ kiện của đề bài, sau đó tìm điều kiện để biểu thức đó có giá trị cực đại. Phương pháp chung là: sử dụng công thức tính công suất và vận dụng các phương pháp giải bài toán mạch điện đã nêu ra ở các thí dụ trước. Cần lưu ý rằng, công suất mạch ngoài của mạch điện kín, chỉ chứa nguồn (hoặc bộ nguồn) và các điện trở (hoặc bóng đèn), là cực đại khi điện trở ngoài bằng điện trở trong của nguồn.

C. Bài tập tương tự: 5.11 (Xem III. Bài tập luyện tập)

III. BÀI TẬP LUYỆN TẬP

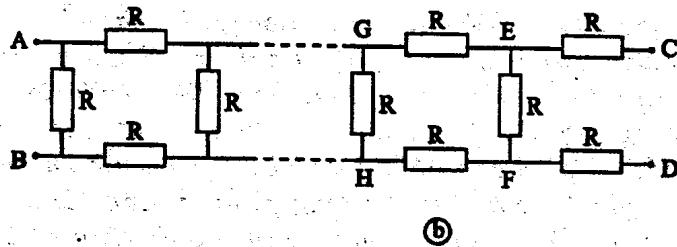
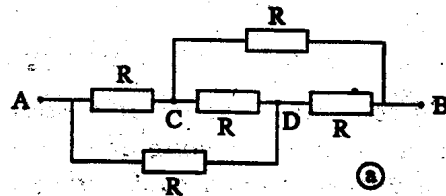
5.1. Có một loạt các điện trở giống nhau $R = 1\Omega$

a) Mắc 5 điện trở giống nhau theo sơ đồ a (Hình 5.41).

Tính điện trở tương đương của mạch AB.

b) Mắc lại 5 điện trở đó thành mạch ~~như sơ đồ b~~ sao cho $R_{AB} = 1,6\Omega$. $R_{EF} = 1,6$

c) Mắc các điện trở nói trên thành mạch điện có sơ đồ như hình b. Phải mắc thêm vào hai điểm C, D một điện trở R_0 bằng bao nhiêu để cho điện trở tương đương của đoạn mạch AB không phụ thuộc vào số mắt của mạch. Tính R_{AB} .



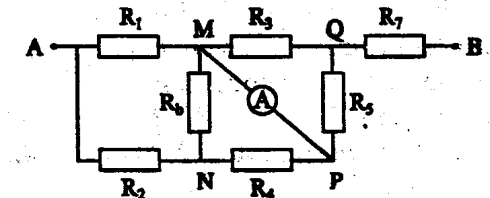
Hình 5.41

5.2. Cho mạch điện có sơ đồ như ở hình 5.42. Cho biết:

$R_1 = 21\Omega$; $R_2 = 42\Omega$; $R_3 = R_4 = R_5 = 20\Omega$; $R_6 = 30\Omega$; $R_7 = 2\Omega$; $R_A \approx 0$

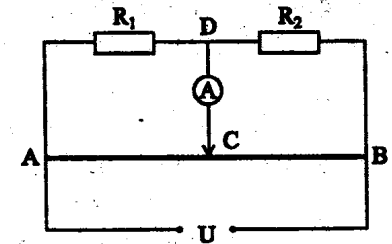
Hiệu điện thế giữa hai đầu A, B của mạch điện là $U = 33V$.

Tính cường độ dòng điện qua các điện trở, hiệu điện thế trên các điện trở. Tìm số chỉ của ampe kế và chiều dòng điện qua ampe kế.



Hình 5.42

5.3. Cho mạch điện như trên hình vẽ. $R_1 = 3\Omega$; $R_2 = 6\Omega$; $V_{AB} = 7V$; AB là một dây dẫn điện dài 1,5m, tiết diện không đổi $S = 0,1mm^2$; điện trở suất $\rho = 4.10^{-7}\Omega.m$; điện trở của ampe kế và các dây nối không đáng kể.



Hình 5.44

1) Tính điện trở dây dẫn AB;

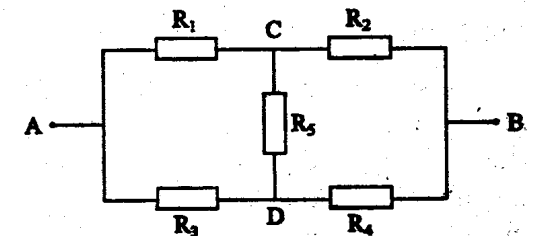
2) Xác định vị trí C để dòng điện qua ampe kế có cường độ 1/3 ampe.

3) Dịch con chạy C tới vị trí sao cho chiều dài $AC = \frac{CB}{2}$.

Tính cường độ dòng điện chạy qua ampe kế.

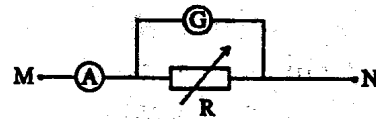
5.4. 1) Tính điện trở tương đương của đoạn mạch AB có sơ đồ như trên hình 5.45. Cho biết $R_1 = 1\Omega$; $R_2 = R_3 = 2\Omega$; $R_4 = 1\Omega$; $R_5 = 1\Omega$;

2) Đặt vào hai đầu A và B của đoạn mạch một hiệu điện thế $U_{AB} = 7V$. Tính cường độ dòng điện qua các điện trở.



Hình 5.45

5.5. Để xác định điện trở trong của một vôn kế G người ta mắc song song với nó một biến trở R, rồi mắc vào đoạn mạch MN có ampe kế A như trên hình 5.48. Khi kim điện kế lệch 30 độ chia thì ampe kế chỉ 0,6A và R có giá trị $R_1 = 0,99\Omega$.



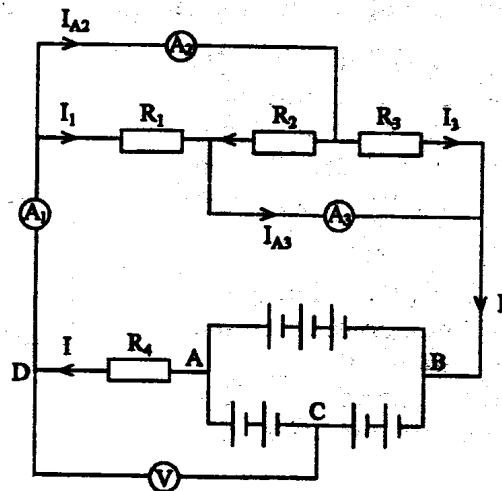
Hình 5.48

Khi kim điện kế lệch 20 độ chia thì ampe kế chỉ 2A và R có giá trị $R_2 = 0,19\Omega$.

- 1) Tính điện trở trong g của điện kế;
- 2) Để mỗi độ chia của điện kế ứng với 10mA thì phải điều chỉnh cho R có giá trị bao nhiêu?
- 3) Cho R giá trị 0,047 Ω thì khi ampe kế chỉ 2A kim điện kế lệch bao nhiêu độ chia.
- 4) Để biến điện kế G thành một vôn kế mà mỗi độ chia ứng với 1V ta phải làm thế nào.

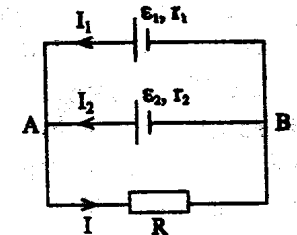
5.6. Muốn mắc ba bóng đèn, $D_1(110V-40W)$, $D_2(110V-50W)$ và $D_3(110V-80W)$ vào mạng điện có hiệu điện thế 220V sao cho cả ba bóng đều sáng bình thường, người ta phải mắc thêm vào mạch một điện trở R_0 .

- 1) Tìm các cách mắc khả dĩ và giá trị R_0 tương ứng;
- 2) Cách mắc nào lợi nhất (công suất tiêu thụ trong R_0 là nhỏ nhất), và với cách mắc đó công suất tiêu thụ trong R_0 là bao nhiêu?



Hình 5.50

5.7. Cho mạch điện có sơ đồ như trên hình 5.50. Bộ nguồn gồm có 8 pin, mỗi pin có $e = 2V$; $r = 1\Omega$ mắc thành hai dãy song song, mỗi dãy 4 chiếc; các điện trở $R_1 = 24\Omega$; $R_2 = 12\Omega$; $R_3 = 8\Omega$; $R_4 = 2\Omega$. Điện trở của ampe kế và dây nối không đáng kể; điện trở của vôn kế rất lớn.

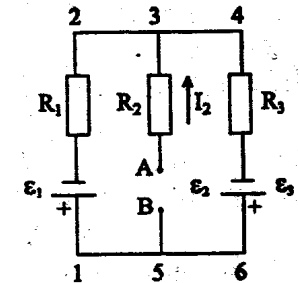


Hình 5.52

- 1) Tìm số chỉ của các ampe kế.
- 2) Tìm số chỉ của vôn kế. Cực dương của vôn kế phải nối vào điểm nào?

5.8. Cho mạch điện có sơ đồ như trên hình 5.52. Cho biết: $\varepsilon_1 = 10V$; $r_1 = 2\Omega$; $\varepsilon_2 = 16V$; $r_2 = 1\Omega$; $R = 4\Omega$. Tính U_{AB} và cường độ dòng điện qua mỗi nhánh. Có nguồn nào trở thành máy thu không?

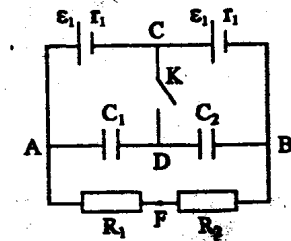
5.9. Cho mạch điện có sơ đồ như trên hình 5.53. Cho biết: $\varepsilon_1 = 8V$; $r_1 = 0,5\Omega$; $\varepsilon_3 = 5V$; $r_3 = 1\Omega$; $R_1 = 1,5\Omega$; $R_2 = 3\Omega$; $R_3 = 3\Omega$. Mắc vào giữa hai điểm A, B nguồn điện ε_2 có điện trở trong không đáng kể thì dòng điện I_2 qua ε_2 có chiều như trên hình vẽ và có độ lớn $I_2 = 1A$. Tính ε_2 . Cực dương của ε_2 mắc vào điểm nào.



Hình 5.53

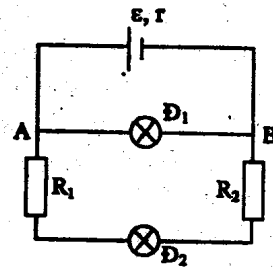
5.10. Cho mạch điện có sơ đồ như trên hình 5.55. Cho biết: $\varepsilon_1 = 6V$; $r_1 = 1\Omega$; $\varepsilon_2 = 3V$; $r_2 = 2\Omega$; $R_1 = 4\Omega$; $R_2 = 2\Omega$; $C_1 = 0,6\mu F$; $C_2 = 0,3\mu F$. Ban đầu K ngắt, sau đó đóng K.

- 1) Tính U_{DF} khi K ngắt và khi K đóng;
- 2) Tính số electron và chiều chuyển electron qua khoá K ngay sau khi đóng K.



Hình 5.55

5.11. Cho mạch điện có sơ đồ như trên *hình 5.56*. Hai đèn D_1 và D_2 có điện trở R_d bằng nhau; $R_1 = R_2 = 6\Omega$. Biết rằng khi mắc vào hai đầu A và B nguồn điện ε_1 ($\varepsilon_1 = 30V$; $r_1 = 2\Omega$) hoặc nguồn ε_2 ($\varepsilon_2 = 36V$; $r_2 = 4\Omega$) thì công suất mạch ngoài vẫn bằng $P = 72W$ và hai đèn đều sáng bình thường.

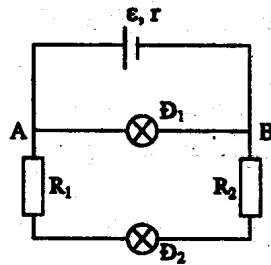


Hình 5.56

1) Tính công suất và hiệu điện thế định mức của mỗi đèn. Dùng nguồn nào lợi hơn?

2) Bây giờ, thay cho ε_1 hoặc ε_2 , người ta mắc nguồn điện ε_3 sao cho hiệu suất bằng 50% và hai đèn sáng bình thường. Tính ε_3 , r_3 .

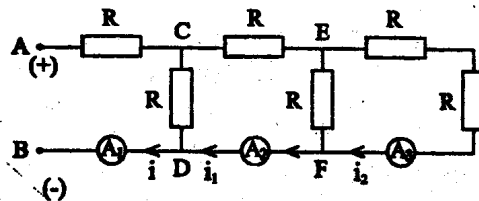
5.12. Cho mạch điện có sơ đồ như trên *hình 5.57*. Cho biết: $R_1 = 9\Omega$; $R_2 = 6\Omega$; R_b là biến trở có điện trở toàn phần $R_{EF} = 30\Omega$; $U_{AB} = 12,32V$. Các ampe kế, khoá K và dây nối có điện trở không đáng kể.



Hình 5.57

- 1) K mở, xác định số chỉ của ampe kế;
- 2) K đóng, tìm vị trí con chạy C của biến trở sao cho:
 - a) Ampe kế A_3 chỉ số 0;
 - b) Hai trong ba ampe kế chỉ cùng một giá trị, hãy tìm giá trị đó.

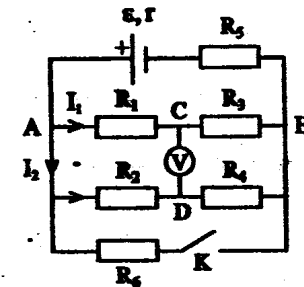
5.13. Cho mạch điện có sơ đồ như trên *hình 5.58*. Các điện trở đều bằng nhau $R = 5\Omega$ và ba ampe kế có điện trở giống nhau. Đặt vào hai đầu A, B một hiệu điện thế



Hình 5.58

U_{AB} thì ampe kế A_3 chỉ 0,2A và ampe kế A_2 chỉ 0,8A. Tìm số chỉ của ampe kế A_1 , U_{AB} và R_{AB} .

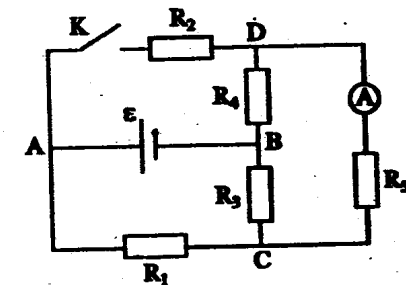
5.14. Cho mạch điện như trên *hình 5.59*, trong đó $r = 1\Omega$; $R_1 = R_4 = 2\Omega$; $R_2 = R_3 = 6\Omega$; $R_5 = 5\Omega$; R_V rất lớn. Biết rằng số chỉ của vôn kế khi K ngắt và khi K đóng lần lượt bằng 2,4V và 1,5V. Hãy tính suất điện động ε của nguồn và điện trở R_6 .



Hình 5.59

5.15. Cho mạch điện có sơ đồ như ở *hình 5.60*.

Cho biết: $\varepsilon = 3V$; $r = 0,4\Omega$; $R_1 = 1\Omega$; $R_3 = 2\Omega$; $R_4 = 4\Omega$; $R_A \approx 0$. Biết rằng khi K ngắt ampe kế chỉ 0,2A và khi K đóng am pe kế chỉ số 0. Hãy tính R_2 , R_5 và công suất của nguồn khi K ngắt và khi K đóng.



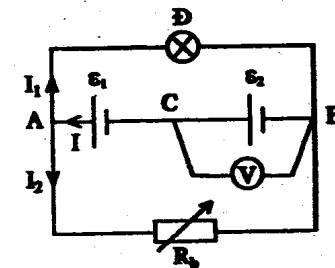
Hình 5.60

5.16. Cho mạch điện có sơ đồ như *hình 5.61*. Trong đó: $\varepsilon_1 = 3V$; $r_1 = 1\Omega$; $\varepsilon_2 = 1,5V$; $r_2 = 1,5\Omega$; đèn Đ 3V – 3W; R_b là biến trở; vôn kế có điện trở rất lớn.

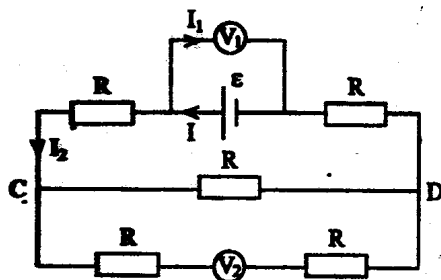
1) Tìm giá trị R của biến trở để vôn kế chỉ số 0. Khi đó đèn Đ có sáng bình thường không?

2) Nếu cho giá trị của biến trở tăng lên từ giá trị R thì độ sáng của đèn Đ và số chỉ trên vôn kế V thay đổi thế nào?

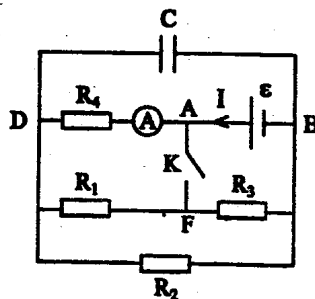
5.17. Cho mạch điện có sơ đồ như trên *hình 5.62*. Trong đó: $\varepsilon = 150V$; $r = \frac{4}{15}R$ các vôn kế có điện trở R_V bằng nhau. Cho biết vôn kế V_1 chỉ 110V, tìm số chỉ vôn kế V_2 .



Hình 5.61



Hình 5.62



Hình 5.63

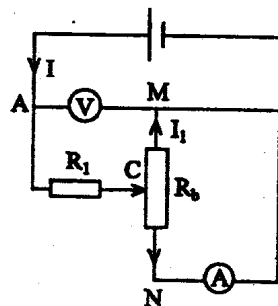
5.18. Cho mạch điện như trên hình 5.63, trong đó : $\varepsilon = 7,2V$; $r = 2,2\Omega$; $R_1 = R_2 = R_3 = 2\Omega$; $C = 0,4\mu F$. Điện trở của ampe kế, của khoá K và của các dây nối không đáng kể. Biết rằng khi K đóng ampe kế chỉ $0,36A$.

- 1) Tìm cường độ dòng điện qua K khi K đóng
- 2) Tìm số chỉ của ampe kế khi K ngắt.
- 3) Tính điện tích của tụ điện khi K đóng và khi K ngắt.

5.19. Cho mạch điện như trên hình 5.64, trong đó : $\varepsilon = 9V$; $r = 1\Omega$; biến trở R_b có điện trở hoàn toàn $R_{MN} = 10\Omega$; $R_1 = 1\Omega$; $R_A \approx 0$; $R_V = \infty$.

1) Tìm số chỉ của ampe kế và vôn kế khi con chạy C ở đúng giữa biến trở MN;

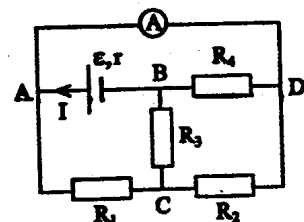
2) Phải di chuyển con chạy C đến vị trí nào để công suất tiêu thụ trong toàn biến trở là lớn nhất? Giá trị lớn nhất ấy bằng bao nhiêu.



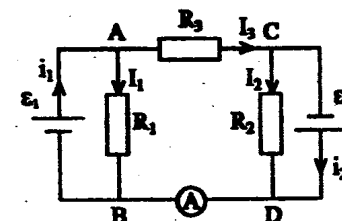
Hình 5.64

5.20. Cho mạch điện như trên hình 5.65, trong đó : $r = 10\Omega$; $R_1 = R_2 = R_3 = 40\Omega$; $R_4 = 30\Omega$; $R_A \approx 0$. Am pe kế chỉ $0,5A$.

- 1) Tính suất điện động ε của nguồn.
- 2) Nếu đổi chỗ nguồn và ampe kế cho nhau thì ampe kế chỉ bao nhiêu?



Hình 5.65



Hình 5.66

5.21. Cho mạch điện có sơ đồ như trên hình 5.66, trong đó: $\varepsilon_1 = 3,6V$; $r_1 = 0$; $\varepsilon_2 = 2,4V$; $r_2 = 0$; $R_1 = 12\Omega$; $R_2 = 6\Omega$; $R_3 = 10\Omega$; $R_A = 0$. Tìm cường độ dòng điện qua ampe kế và qua các nguồn.

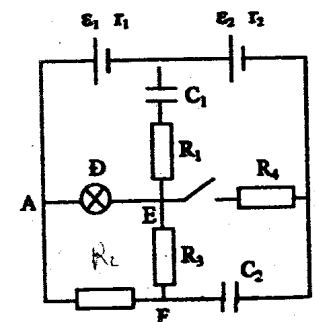
5.22. Một nguồn điện có suất điện động $\varepsilon_1 = 9V$, điện trở trong $r_1 = 0,75\Omega$ được dùng để nạp cho một bộ acquy gồm 3 chiếc ghép nối tiếp, mỗi chiếc có suất điện động $\varepsilon = 2V$, điện trở trong $0,2\Omega$. Nguồn và bộ acquy được mắc song song với một biến trở R_b .

- 1) Vẽ sơ đồ mạch điện
- 2) Điều chỉnh $R_b = 18\Omega$. Tính cường độ dòng điện qua nguồn và qua acquy, và tính công suất tiêu hao trên bộ acquy.
- 3) Để tăng cường độ dòng điện nạp cho acquy cần tăng hay giảm R_b ? Dòng lớn nhất có thể nạp cho acquy bằng bao nhiêu?

5.23. Cho mạch có sơ đồ như trên hình 5.68, trong đó: $\varepsilon_1 = 6V$; $\varepsilon_2 = 9V$; $r_1 = r_2 = 0$; $R_1 = R_2 = 8\Omega$; $R_4 = 0,5\Omega$; $C_1 = 0,5\mu F$; $C_2 = 0,2\mu F$; đèn Đ: $12V - 18W$. Khi chưa mắc vào mạch các tụ điện chưa tích điện.

1) Ban đầu khoá K ngắt, tính điện tích của các tụ điện.

2) Đóng K thì đèn Đ sáng bình thường. Hãy tính R_3 ; điện lượng chuyển qua R_1 , R_3 và nói rõ chiều chuyển của các điện tích dương.

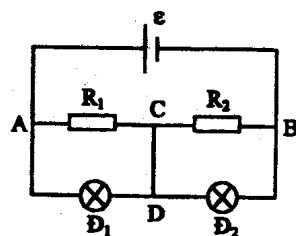


Hình 5.68

5.24. Cho mạch điện có sơ đồ như trên hình 5.69, cho biết: $\varepsilon = 15V$; $r = 2,4\Omega$; $D_1: 6V - 3W$; $D_2: 3V - 6W$

1) Biết hai đèn sáng bình thường, tính R_1 , R_2 và công suất tiêu thụ trong R_1 , R_2 .

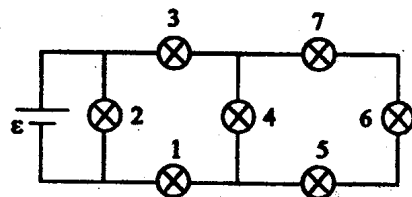
2) Với cùng nguồn đó, tìm cách mắc các đèn và điện trở đã cho khác với cách mắc trên để hai đèn đó vẫn sáng bình thường.



Hình 5.69

5.25. Cho mạch điện có sơ đồ như trên hình 5.70, trong đó các đèn đều có điện trở bằng R_c và điện trở trong của nguồn là $r = \frac{4R_c}{15}$.

Biết rằng công suất tiêu thụ ở đèn 6 bằng 6W. Hãy tính công suất tiêu thụ ở mạch ngoài, công suất và hiệu suất của nguồn.



Hình 5.70

5.26. Một bếp điện được mắc vào mạch điện 120V qua một điện trở R_0 mắc nối tiếp với nó. Khi dòng điện qua bếp đã ổn định, R_0 có giá trị $1,5\Omega$, công suất của bếp là $P = 666W$ và nhiệt độ dây nung là $700^\circ C$.

1) Tính điện trở R của bếp điện và hiệu điện thế đặt vào bếp.

2) Dây nung bằng nicrom có tiết diện $0,25mm^2$, điện trở suất $\rho = 1,1 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot m$, hệ số nhiệt điện trở $\alpha = 0,0002K^{-1}$. Tính độ dài của dây ở $20^\circ C$.

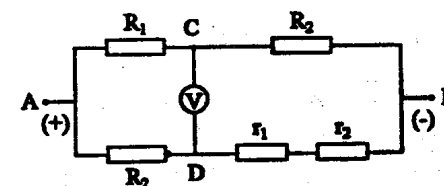
3) Khi bỏ R_0 đi và cắm trực tiếp bếp vào mạng điện trên thì nhiệt độ dây nung tăng thêm $100^\circ C$. Tính công suất của bếp lúc đó.

5.27. Một động cơ điện nhỏ có điện trở trong $r_d = 2\Omega$, khi hoạt động bình thường cần một hiệu điện thế $U = 9V$ và một dòng điện cường độ $I = 0,75A$.

1) Tính công suất tiêu thụ của động cơ và hiệu suất của động cơ.

2) Để cung cấp điện cho động cơ đó người ta dùng 18 acquy, mỗi cái có suất điện động $e = 2V$, điện trở trong $r = 2\Omega$. Hỏi phải mắc các acquy đó như thế nào để hiệu suất của bộ acquy là lớn nhất.

5.28. Cho mạch điện có sơ đồ như trên hình 5.71, trong đó $U_{AB} = 12V$; $R_1 = 5\Omega$; $R_2 = 25\Omega$; $R_3 = 20\Omega$; $r_1 = r_2 = r$, vôn kế có điện trở rất lớn. Khi hai điện trở r_1 , r_2 mắc nối tiếp, vôn kế chỉ một giá trị là U_1 , còn khi r_1 và r_2 mắc song song với nhau và vào hai điểm D, B thì vôn kế chỉ giá trị $U_2 = 3U_1$.



Hình 5.71

1) Tính r và số chỉ của vôn kế khi nhánh BD chỉ chứa một trong hai điện trở r_1 , r_2 .

2) Vôn kế đang chỉ U_1 (r_1 và r_2 mắc nối tiếp). Để cho vôn kế chỉ số 0, chỉ cần:

a) Hoặc chuyển chỗ một điện trở; đó là điện trở nào và chuyển nó đi đâu;

b) Hoặc đổi chỗ hai điện trở cho nhau; đó là những điện trở nào?

HƯỚNG DẪN GIẢI VÀ ĐÁP SỐ CÁC BÀI TẬP “NHỮNG ĐỊNH LUẬT CƠ BẢN CỦA DÒNG ĐIỆN KHÔNG ĐỔI”

5.1. a) Vẽ lại sơ đồ a như ở hình 5.42a.

Do tính đối xứng của mạch đối với đường thẳng AB, hai điểm C và D có cùng điện thế, do đó có thể chập chúng làm một, và khi đó ta có bốn điện trở R mắc theo sơ đồ: $(R // R) \text{ nt } (R // R)$; do đó điện trở tương đương của mạch là:

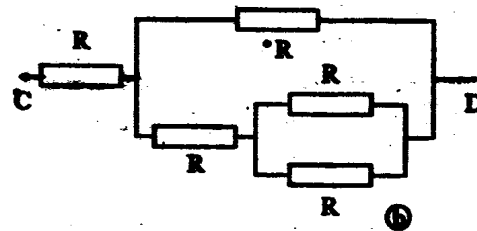
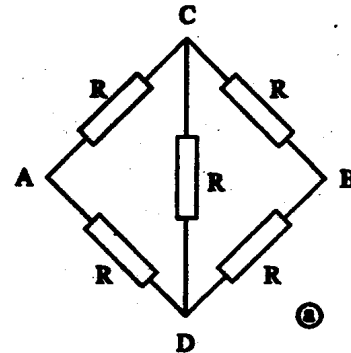
$$R_{AB} = \frac{R}{2} + \frac{R}{2} = R$$

b) Trước hết ta chú ý rằng: mắc nối tiếp làm tăng điện trở của mạch, còn mắc song song thì làm giảm điện trở của mạch. Vì $R_{CD} > R$ nên mạch CD phải gồm một điện trở R mắc nối tiếp với nhóm gồm 4 điện trở còn lại,

nhóm này phải có điện trở tương đương bằng $R_{CD} - R = 0,6 \Omega$. Để dàng kiểm tra lại rằng nhóm điện trở đó không thể gồm 4 điện trở R mắc song song (vì điện trở khi đó chỉ bằng $\frac{R}{4} = 0,25 \Omega$); hoặc gồm 2 nhánh mắc song song, mỗi nhánh

có 2 điện trở R nối tiếp (vì khi đó điện trở bằng $\frac{2R}{2} = R = 1\Omega$).

Vậy nhóm đó chỉ có thể là một điện trở R mắc song song với ba điện trở R ; ba điện trở này lại không thể mắc nối tiếp



Hình 5.42a

(vì điện trở tương đương khi đó bằng $\frac{R \cdot 3R}{R + 3R} = \frac{3R}{4} = 0,75\Omega$).

Như vậy ba điện trở này phải gồm một điện trở R mắc nối tiếp với hai điện trở R mắc song song, khi đó điện trở tương đương của nhóm 4 điện trở này bằng

$$\frac{R(R + \frac{R}{2})}{R + R + \frac{R}{2}} = \frac{3R}{5} = 0,6\Omega$$

theo đúng yêu cầu của đề bài. Như vậy sơ đồ mắc 5 điện trở R của mạch CD phải là: $R \text{ nt } [R // \{R \text{ nt } (R // R)\}]$.

c) Điện trở R_0 phải có giá trị sao cho điện trở tương đương của mắt cuối cùng CEFD cũng bằng R_0 , rồi tương tự như vậy lại có thể thay mắt trước đó EFGH bằng điện trở R_0 . Như vậy điện trở toàn phần R_{AB} sẽ không phụ thuộc vào số mắt và luôn luôn bằng R_0 . Do đó R_0 được xác định bằng hệ thức:

$$\frac{(2R + R_0)R}{3R + R_0} = R_0.$$

Suy ra $R_0 = R(\sqrt{3} - 1) \approx 0,73 \Omega$.

5.2. Vì $R_A \approx 0$, nhập hai điểm M, P làm một và mạch điện được vẽ lại như ở hình 5.43.

Ta có $R_{MN} = R_{46} = \frac{R_4 \cdot R_6}{R_4 + R_6} = 12\Omega$

$$R_{ANM} = R_2 + R_{46} = 54\Omega$$

$$R_{AM} = \frac{R_1 \cdot R_{ANM}}{R_1 + R_{ANM}} = 15,12\Omega$$

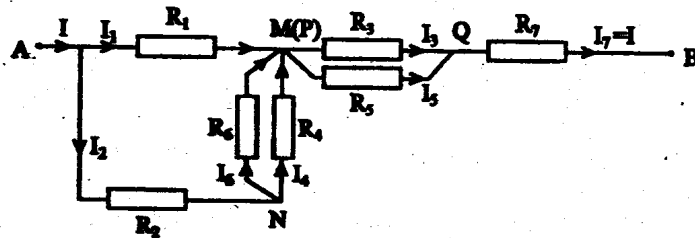
$$R_{MQ} = R_{35} = \frac{R_3 \cdot R_5}{R_3 + R_5} = 10\Omega;$$

$$R_{AB} = R_{AM} + R_{MQ} + R_7 = 27,12\Omega.$$

Cường độ dòng điện mạch chính :

$$I = \frac{U}{R_{AB}} = 1,22A = I_7; \quad U_7 = I_7 R_7 = 2,44V.$$

Vì $R_3 = R_5$ nên $I_3 = I_5 = \frac{I}{2} = 0,61A$; từ đó
 $U_3 = U_5 = I R_{MQ} = 12,2V.$



Hình 5.43

Ta có : $U_{AM} = U_1 = R_{AM} \cdot I = 18,45V$; $I_1 = \frac{U_1}{R_1} \approx 0,88A$,

$$I_2 = \frac{U_{AM}}{R_{ANM}} = 0,34A; \quad U_2 = I_2 R_2 = 14,28V;$$

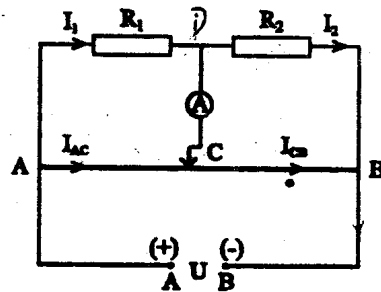
$$U_{NM} = I_2 \cdot R_{NM} = 4,08V = U_4 = U_6.$$

$$I_4 = \frac{U_4}{R_4} = 0,204A; \quad I_6 = I_2 - I_4 = 0,136A;$$

Ta thấy $I_5 > I_4$, nên
 xét tại nút P (hình 5.42)
 ta có :

$$I_A = I_5 - I_4 = 0,41A.$$

dòng điện chạy qua
 ampe kế theo chiều MP
 và số chỉ ampe kế là
 0,41A.



hình 5.45

5.3. a) $R_{AB} = \rho \frac{l}{S} = 6\Omega$

b) Đặt $R_{AC} = x$, do đó $R_{CB} = 6 - x$.

Điện trở tương đương của đoạn mạch :

$$R = \frac{3x}{x+3} + \frac{6(6-x)}{12-x} \Rightarrow R = \frac{54x - 9x^2 + 108}{(x+3)(12-x)}$$

Cường độ mạch chính : $I = \frac{U}{R} = \frac{7(x+3)(12-x)}{54x - 9x^2 + 108}$

Từ đó $U_{AD} = U_1 = \frac{3x}{x+3} \cdot I = \frac{21x(12-x)}{54x - 9x^2 + 108};$

$$U_{DB} = U_2 = \frac{6(6-x)}{12-x} \cdot I = \frac{42(6-x)(x+3)}{54x - 9x^2 + 108}$$

Vậy : $I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{7x(12-x)}{54x - 9x^2 + 108}; \quad I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{7(6-x)(x+3)}{54x - 9x^2 + 108}$

+ Nếu cực dương của ampe kế nối với D thì $I_A = I_1 - I_2 = \frac{1}{3}$

$$\rightarrow \frac{63x - 126}{54x - 9x^2 + 108} = \frac{1}{3} \rightarrow x^2 + 15x - 54 = 0 \rightarrow x = 3$$

(loại đi trường hợp $x = -18 < 0$) : Vậy C nằm giữa AB.

+ Nếu cực dương của ampe kế nối với C thì $I_A = I_2 - I_1 = \frac{1}{3}$

$$\rightarrow x^2 - 27x + 30 = 0 \rightarrow x = 1,2 \Omega$$

(trường hợp $x = 25,8 > 6$ bị loại).

Vậy $R_{AC} = 1,2 \Omega$; $R_{CB} = 4,8 \Omega$, nghĩa là điểm C xác định

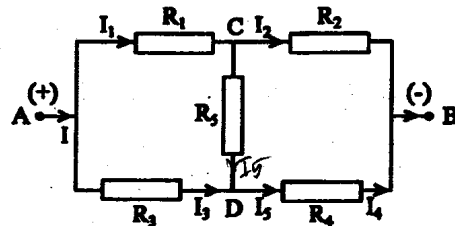
bởi $\frac{R_{AC}}{R_{CB}} = \frac{AC}{CB} = \frac{1,2}{4,8} = \frac{1}{4}$, tức là điểm C cách A một đoạn

$$AC = \frac{AB}{5} = 0,3m.$$

c) $AC = \frac{CB}{2} \rightarrow R_{AC} = \frac{R_{AB}}{3} = 2\Omega$ và $R_{CB} = 4\Omega$.

Ta nhận xét rằng $\frac{R_1}{R_{AC}} = \frac{3}{2}$, $\frac{R_2}{R_{CB}} = \frac{6}{4} = \frac{3}{2}$ nghĩa là $\frac{R_1}{R_{AC}} = \frac{R_2}{R_{CB}}$
ta có mạch cầu cân bằng. Do đó $V_C = V_D \rightarrow I_A = 0$.

5.4. 1) Áp dụng phương pháp điện thế nút. Giả sử đặt vào hai đầu A, B của đoạn mạch một hiệu điện thế $U_{AB} = U$, và giả sử dòng điện qua R_5 có chiều hướng như trên hình 5.47.



Hình 5.47

Chọn $V_B = 0$, ta có $V_A = U$ và $I_1 = \frac{V_A - V_C}{R_1} = U - V_C$;

$$I_2 = \frac{V_C - V_B}{R_2} = \frac{V_C}{2} ; I_3 = \frac{V_A - V_D}{R_3} = \frac{U - V_D}{2}$$

$$I_4 = \frac{V_D - V_B}{R_4} = V_D ; I_5 = \frac{V_C - V_D}{R_5} = V_C - V_D \quad (1)$$

Phương trình dòng điện tại các nút C và D :

$$I_1 = I_2 + I_5 ; I_3 + I_5 = I_4 \quad (2)$$

Thay (1) vào (2) ta được :

$$U - V_C = \frac{V_C}{2} + (V_C - V_D) ; \frac{U - V_D}{2} + (V_C - V_D) = V_D \quad (3)$$

Giải hệ phương trình (3) ta được :

$$V_C = \frac{4U}{7} \text{ và } V_D = \frac{3U}{7}$$

$$\text{Từ đó : } I_1 = \frac{3U}{7} ; I_2 = \frac{2U}{7} \text{ và } I = I_1 + I_2 = \frac{5U}{7}.$$

Điện trở tương đương của mạch AB là : $R_{AB} = \frac{U}{I} = \frac{7}{5} = 1,4\Omega$

2) Thay $U_{AB} = U = 7V$ vào các biểu thức trên ta được :

$$I_1 = 3A ; I_2 = 2A ; I_3 = 2A ; I_4 = 3A \text{ và } I_5 = 1A.$$

Chiều của dòng I_5 đã giả thiết là đúng.

5.5. 1) Giả sử mỗi độ chia của điện kế ứng với cường độ dòng điện bằng I_0 . Áp dụng công thức $I = I_g(1 + \frac{g}{R})$, ta có :

$$+ \text{ Khi } R = 0,99\Omega : 0,6 = 30 I_0 (1 + \frac{g}{0,99}) \quad (1)$$

$$+ \text{ Khi } R = 0,19\Omega : 2 = 20 I_0 (1 + \frac{g}{0,19}) \quad (2)$$

Từ (1) và (2) rút ra : $g = 18,81\Omega ; I_0 = 1 \text{ mA}$.

2) Mỗi độ chia của điện kế ứng với $I_0 = 1 \text{ mA}$. Để giá trị mỗi độ chia ứng với 10 mA, tức là phải mở rộng thang đo của điện kế lên 10 lần, ta phải có :

$$\frac{I}{I_g} = 10 = 1 + \frac{g}{R} \rightarrow R = \frac{g}{9} = 2,09\Omega$$

3) Gọi n là số độ lệch của kim điện kế khi ampe kế chỉ 2A và $R = 0,047\Omega$. Ta có : $I = I_g(1 + \frac{g}{R}) = n I_0(1 + \frac{g}{R})$

$$\text{hay } n = \frac{I}{I_0(1 + \frac{g}{R})} = \frac{2}{10^{-3}(1 + \frac{18,81}{0,047})} = 5$$

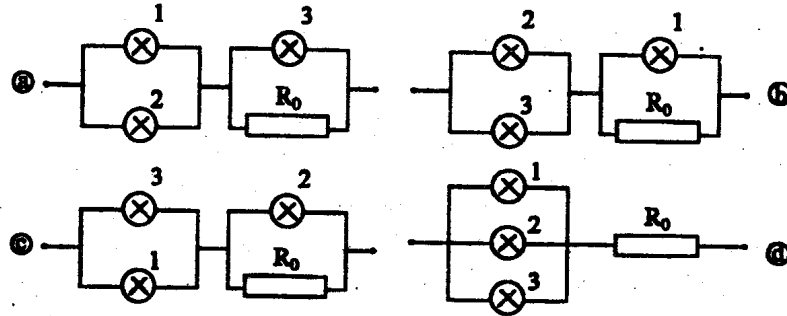
4) Để biến điện kế thành vôn kế ta phải mắc nối tiếp với vôn kế một điện trở phụ R_p và hiệu điện thế giữa hai cực của vôn kế là : $U_v = R_v I_v = (g + R_p) I_v$ với $I_v = I_g$. Khi $I_v = I_g = 10^{-3}A$ thì $U_v = 1V$, nên ta suy ra

$$R_p = \frac{U_v}{I_v} - g = 981,19\Omega.$$

5.6. 1) Điện trở của các đèn :

$$R_1 = \frac{U_{\text{đ}}^2}{P_{\text{đ}}} = \frac{110^2}{40} \Omega ; R_2 = \frac{110^2}{50} \Omega ; R_3 = \frac{110^2}{80} \Omega$$

Vì mạng điện có hiệu điện thế gấp đôi hiệu điện thế định mức của các đèn, nên phải mắc thành hai nhóm nối tiếp, mỗi nhóm có một số đèn song song và mắc thêm điện trở phụ R_0 sao cho điện trở tương đương của 2 nhóm bằng nhau (dòng điện qua hai nhóm như nhau). Có 4 cách mắc như trên hình 5.49.



Hình 5.49

Với sơ đồ a : $\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_0} \rightarrow R_0 = \frac{110^2}{10} = 1210 \Omega$

Với sơ đồ b : $\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_0} \rightarrow R_0 = \frac{110^2}{90} = 134,4 \Omega$

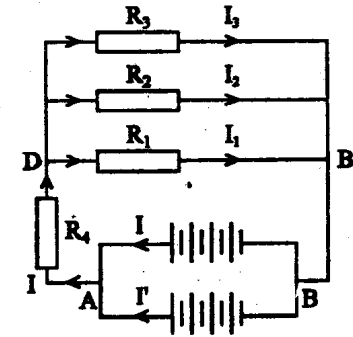
Với sơ đồ c : $\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_0} \rightarrow R_0 = \frac{110^2}{70} = 172,8 \Omega$

Với sơ đồ d : $\frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \rightarrow R_0 = \frac{110^2}{170} = 71,17 \Omega$

2) Công suất tiêu thụ của R_0 : $P = \frac{U^2}{R_0}$

Vì $U = 110V = \text{const}$ nên $P_{\text{min}} \rightarrow R_{0 \text{ max}} \rightarrow R_{0 \text{ max}} = 1210 \Omega$.
mắc theo cách a là lợi nhất, khi đó $P_{\text{min}} = 10W$

5.7. 1) Vì các ampe kế có điện trở không đáng kể và điện trở của vôn kế rất lớn nên ta có thể vẽ lại mạch điện như trên hình 5.51 ; chiều của dòng điện chạy trong các đoạn mạch như trên hình vẽ (từ điểm có điện thế cao đến điểm có điện thế thấp). Bộ nguồn của mạch điện tương ứng với một nguồn có suất điện động và điện trở trong là :



Hình 5.51

$$E_b = 4e = 8V ; r_b = \frac{4r}{2} = 2 \Omega$$

Điện trở tương đương của mạch ngoài : $R = R_4 + \frac{1}{R_{123}}$

với $\frac{1}{R_{123}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{4} \rightarrow R_{123} = 4 \Omega \rightarrow R = 6 \Omega$

Vậy $I = \frac{E_b}{R + r_b} = 1A$.

Từ đó $U_{AB} - U_1 = U_2 = U_3 = IR_{123} = 4V$

Suy ra : $I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{1}{6} A ; I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{1}{3} A ; I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{1}{2} A$

Vẽ lại chiều dòng điện trên mạch điện như ở hình 5.50. Ta có ;

$$I_{A1} = I_1 = 1A ; I_{A2} = I - I_1 = \frac{5}{6} A ; I_{A3} = I_1 + I_2 = 0,5A$$

2) Vì hai nhánh nguồn điện giống nhau nên $I' = I'' = \frac{I}{2} = 0,5A$

Tính hiệu điện thế giữa hai đầu của nhóm AC (gồm 2 nguồn)

$U_{AC} = (2e) - (2r)I' = 3V$. Ta có $U_{AD} = IR_4 = 2V$

Từ đó : $U_{DC} = U_{DA} + U_{AC} = U_{AC} - U_{AD} = 1V$;

Vôn kế chỉ 1 vôn và cực dương của vôn kế phải nối vào điểm D.

5.8. Áp dụng định luật Ôm cho các loại đoạn mạch.

Giả sử các dòng điện có chiều như trên hình 5.52.

$$\text{Xét nhánh } A\epsilon_1 B : U_{BA} = r_1 I_1 - \epsilon_1 \rightarrow U_{AB} = \epsilon_1 - r_1 I_1 \quad (1)$$

$$\text{Xét nhánh } A\epsilon_2 B : U_{BA} = r_2 I_2 - \epsilon_2 \rightarrow U_{AB} = \epsilon_2 - r_2 I_2 \quad (2)$$

$$\text{Xét nhánh } ARB : U_{AB} = IR \quad (3)$$

$$\text{Tại nút A : } I = I_1 + I_2 \quad (4)$$

$$\text{Từ (1), (2), (3) và (4) suy ra : } U_{AB} = \frac{\frac{\epsilon_1}{r_1} + \frac{\epsilon_2}{r_2}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}}$$

$$\text{Thay số ta được } U_{AB} = 12V. \text{ Từ đó : } I_1 = \frac{\epsilon_1 - U_{AB}}{r_1} = -1A ;$$

$$I_2 = \frac{\epsilon_2 - U_{AB}}{r_2} = 4A ; I = \frac{U_{AB}}{R} = 3A.$$

Chiều của I_2 và I đúng như đã giả thiết, còn dòng I_1 thì từ A sang B (ϵ_1 trở thành máy thu điện).

5.9. Giả sử cực dương của ϵ_2 mắc vào điểm A và chiều các dòng điện I_1 và I_3 như trên hình 5.54. Áp dụng phương pháp Kiếcsốp. Mạch điện có 2 nút (3 và 6) nên ta thiết lập được một phương trình về nút.

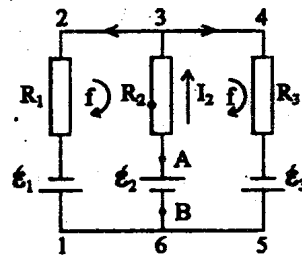
Xét nút 3 chẳng hạn, ta có :

$$I_2 - I_1 - I_3 = 0 \quad (1)$$

Xét mắt 12361 và mắt 34563, ta có các phương trình (chiều f như trên hình vẽ).

$$-\epsilon_1 - \epsilon_2 = -I_1(R_1 + r_1) - I_2 R_2 \quad (2)$$

$$\epsilon_2 + \epsilon_3 = I_2 R_3 + I_3(R_3 + r_3) \quad (3)$$



Hình 5.54

Thay số và giải hệ phương trình (1), (2), (3) ta được :

$$\epsilon_2 = -1,6V ; I_1 = 1,2A ; I_3 = -0,2A$$

Vì $I_3 < 0$ nên chiều của I_3 phải là từ 5 đến 4.

Vì $\epsilon_2 < 0$ nên cực âm của ϵ_2 phải mắc vào A.

5.10. Cường độ dòng điện trong mạch là :

$$I = \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2}{R_1 + R_2 + r_1 + r_2} = 1A. \text{ Suy ra } U_{AB} = (R_1 + R_2)I = 6V$$

+ Khi K ngắt : Điện tích trên mỗi tụ là :

$$q_1 = q_2 = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \cdot U_{AB} = 1,2 \cdot 10^{-6} C ; U_{AB} = \frac{q_1}{C_1} = 2V$$

Ta có: $U_{AF} = R_1 I = 4V$, từ đó $U_{DF} = U_{DA} + U_{AF} = U_{AF} - U_{AD} = 2V$

Tổng điện tích trên hai bản tụ điện nối với D là $Q = q_2 - q_1 = 0$

+ Khi K đóng : $U_{AC} = U_1 = \epsilon_1 - r_1 I = 5V$; $U_{CB} = U_2 = \epsilon_2 - r_2 I = 1V$

Điện tích trên các tụ điện :

$$q'_1 = C_1 U_1 = 3 \cdot 10^{-6} C ; q'_2 = C_2 U_2 = 0,3 \cdot 10^{-6} C.$$

Tổng điện tích trên hai bản tụ điện nối với D khi K đóng là :

$$Q' = q'_2 - q'_1 = -2,7 \cdot 10^{-6} C.$$

Vậy các electron đã chuyển qua K theo chiều từ C đến D ;

số electron đã di chuyển bằng: $n = \frac{|Q'|}{e} = 1,6875 \cdot 10^{13}$ electron.

5.11. 1) Công suất mà nguồn điện bằng tổng công suất mạch ngoài và mạch trong, nên ta có :

$$EI = p + rI^2 \rightarrow rI^2 - EI + P = 0 \quad (1),$$

với I là cường độ dòng điện mạch chính.

+ Khi $\epsilon_1 = 30V$, $r_1 = 2\Omega$, từ (1) ta có $I_1 = 3A$ và $I_2 = 12A$.

Điện trở mạch ngoài $R = \frac{P}{I^2}$ tương ứng bằng $R_1'' = 8\Omega$ và $R_2'' = 0,5\Omega$;

+ Khi $\epsilon_2 = 36V$, $r_2 = 4\Omega$, từ (1) ta có : $I'_1 = 3A$ và $I'_2 = 6A$.

Điện trở mạch ngoài tương ứng bằng:

$$R_1'' = 8\Omega \text{ và } R_2'' = 2\Omega$$

Vì điện trở mạch ngoài phải giữ nguyên không thay đổi nên điện trở mạch ngoài phải bằng $R = R_1' = R_1'' = 8\Omega$, và do đó $I = 3A$. Mặt khác điện trở tương đương của mạch được tính theo công thức:

$$R = \frac{R_d(R_d + R_1 + R_2)}{2R_d + R_1 + R_1 + R_2} \text{ Thay } R = 8\Omega, R_1 = R_2 = 6\Omega.$$

Từ đó suy ra: $R_d = 12\Omega$ (loại bỏ nghiệm âm)

Hiệu điện thế mạch ngoài cũng là hiệu điện thế định mức của đèn D_1 :

$$U_{AB} = U_{d1} = RI = 24V. \text{ Từ đó } P_{d1} = \frac{U_{d1}^2}{R_d} = 48W \text{ và}$$

$$I_{d1} = \frac{P_{d1}}{U_{d1}} = 2A. \text{ Cường độ dòng điện (định mức) qua đèn } D_2:$$

$$I_{d2} = \frac{U_{AB}}{R_1 + R_2 + R_d} = 1A.$$

Hiệu điện thế và công suất định mức của đèn D_2 bằng:

$$U_{d2} = I_{d2} \cdot R_d = 12V; P_{d2} = R_d I_{d2}^2 = 12W$$

Hiệu suất của các nguồn điện ϵ_1 và ϵ_2 là:

$$H_1 = \frac{R}{R + r_1} = 80\%; H_2 = \frac{R}{R + r_2} = 67\% < H_1.$$

Vậy dùng nguồn ϵ_1 lợi hơn.

$$2. \text{ Ta có } H_3 = \frac{R}{R + r_3} = 50\%. \text{ Suy ra } r_3 = R = 8\Omega.$$

Hai đèn vẫn sáng bình thường nên cường độ dòng điện mạch chính vẫn phải bằng: $I = I_{d1} + I_{d2} = 3$. Do đó suất điện động của nguồn ϵ_3 phải bằng: $\epsilon_3 = (R + r_3)I = 48V$.

$$\text{Điện trở tương đương của mạch AB là: } R_{AB} = \frac{U}{I} = \frac{7}{5} = 1,4\Omega$$

2) Thay $U_{AB} = U = 7V$ vào các biểu thức trên ta được:

$$I_1 = 3A; I_2 = 2A; I_3 = 2A; I_4 = 3A \text{ và } I_5 = 1A.$$

Chiều của dòng I_5 đã giả thiết là đúng.

5.5. 1) Giả sử mỗi độ chia của điện kế ứng với cường độ dòng điện bằng I_0 . Áp dụng công thức $I = I_g(1 + \frac{g}{R})$, ta có:

$$+ \text{ Khi } R = 0,99\Omega: 0,6 = 30 I_0 (1 + \frac{g}{0,99}) \quad (1)$$

$$+ \text{ Khi } R = 0,19\Omega: 2 = 20 I_0 (1 + \frac{g}{0,19}) \quad (2)$$

Từ (1) và (2) rút ra: $g = 18,81\Omega; I_0 = 1 \text{ mA}$.

2) Mỗi độ chia của điện kế ứng với $I_0 = 1 \text{ mA}$. Để giá trị mỗi độ chia ứng với 10 mA , tức là phải mở rộng thang đo của điện kế lên 10 lần, ta phải có:

$$\frac{I}{I_g} = 10 = 1 + \frac{g}{R} \rightarrow R = \frac{g}{9} = 2,09\Omega$$

3) Gọi n là số độ lệch của kim điện kế khi ampe kế chỉ $2A$ và $R = 0,047\Omega$. Ta có: $I = I_g(1 + \frac{g}{R}) = n I_0(1 + \frac{g}{R})$

$$\text{hay } n = \frac{I}{I_0(1 + \frac{g}{R})} = \frac{2}{10^{-3}(1 + \frac{18,81}{0,047})} = 5$$

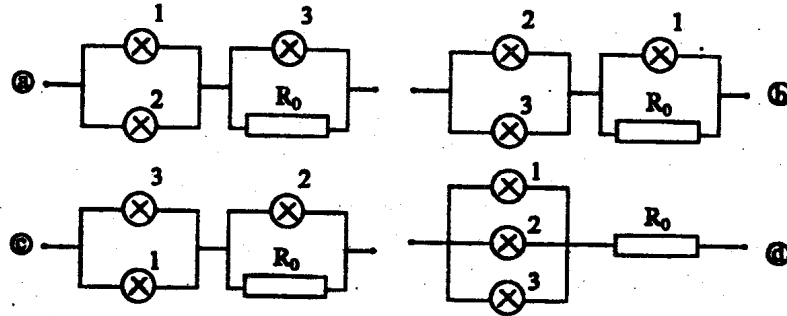
4) Để biến điện kế thành vôn kế ta phải mắc nối tiếp với vôn kế một điện trở phụ R_p và hiệu điện thế giữa hai cực của vôn kế là: $U_v = R_v I_v = (g + R_p) I_v$ với $I_v = I_g$. Khi $I_v = I_g = 10^{-3}A$ thì $U_v = 1V$, nên ta suy ra

$$R_p = \frac{U_v}{I_v} - g = 981,19\Omega.$$

5.6. 1) Điện trở của các đèn :

$$R_1 = \frac{U_{\text{đ}}^2}{P_{\text{đ}}} = \frac{110^2}{40} \Omega ; R_2 = \frac{110^2}{50} \Omega ; R_3 = \frac{110^2}{80} \Omega$$

Vì mạng điện có hiệu điện thế gấp đôi hiệu điện thế định mức của các đèn, nên phải mắc thành hai nhóm nối tiếp, mỗi nhóm có một số đèn song song và mắc thêm điện trở phụ R_0 sao cho điện trở tương đương của 2 nhóm bằng nhau (dòng điện qua hai nhóm như nhau). Có 4 cách mắc như trên hình 5.49.



Hình 5.49

Với sơ đồ a : $\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_0} \rightarrow R_0 = \frac{110^2}{10} = 1210 \Omega$

Với sơ đồ b : $\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_0} \rightarrow R_0 = \frac{110^2}{90} = 134,4 \Omega$

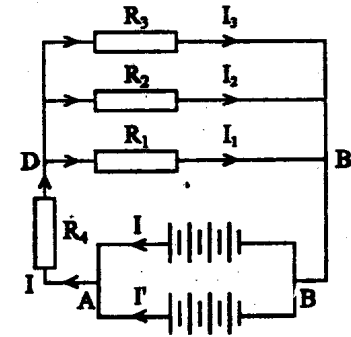
Với sơ đồ c : $\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_0} \rightarrow R_0 = \frac{110^2}{70} = 172,8 \Omega$

Với sơ đồ d : $\frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \rightarrow R_0 = \frac{110^2}{170} = 71,17 \Omega$

2) Công suất tiêu thụ của R_0 : $P = \frac{U^2}{R_0}$

Vì $U = 110V = \text{const}$ nên $P_{\text{min}} \rightarrow R_{0 \text{ max}} \rightarrow R_{0 \text{ max}} = 1210 \Omega$.
mắc theo cách a là lợi nhất, khi đó $P_{\text{min}} = 10W$

5.7. 1) Vì các ampe kế có điện trở không đáng kể và điện trở của vôn kế rất lớn nên ta có thể vẽ lại mạch điện như trên hình 5.51 ; chiều của dòng điện chạy trong các đoạn mạch như trên hình vẽ (từ điểm có điện thế cao đến điểm có điện thế thấp). Bộ nguồn của mạch điện tương ứng với một nguồn có suất điện động và điện trở trong là :



Hình 5.51

$$E_b = 4e = 8V ; r_b = \frac{4r}{2} = 2 \Omega$$

Điện trở tương đương của mạch ngoài : $R = R_4 + \frac{1}{R_{123}}$

với $\frac{1}{R_{123}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{4} \rightarrow R_{123} = 4 \Omega \rightarrow R = 6 \Omega$

Vậy $I = \frac{E_b}{R + r_b} = 1A$.

Từ đó $U_{AB} - U_1 = U_2 = U_3 = IR_{123} = 4V$

Suy ra : $I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{1}{6} A ; I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{1}{3} A ; I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{1}{2} A$

Vẽ lại chiều dòng điện trên mạch điện như ở hình 5.50. Ta có ;

$$I_{A1} = I_1 = 1A ; I_{A2} = I - I_1 = \frac{5}{6} A ; I_{A3} = I_1 + I_2 = 0,5A$$

2) Vì hai nhánh nguồn điện giống nhau nên $I' = I'' = \frac{I}{2} = 0,5A$

Tính hiệu điện thế giữa hai đầu của nhóm AC (gồm 2 nguồn)

$U_{AC} = (2e) - (2r)I' = 3V$. Ta có $U_{AD} = IR_4 = 2V$

Từ đó : $U_{DC} = U_{DA} + U_{AC} = U_{AC} - U_{AD} = 1V$;

Vôn kế chỉ 1 vôn và cực dương của vôn kế phải nối vào điểm D.

5.8. Áp dụng định luật Ôm cho các loại đoạn mạch.

Giả sử các dòng điện có chiều như trên hình 5.52.

$$\text{Xét nhánh } A\epsilon_1 B : U_{BA} = r_1 I_1 - \epsilon_1 \rightarrow U_{AB} = \epsilon_1 - r_1 I_1 \quad (1)$$

$$\text{Xét nhánh } A\epsilon_2 B : U_{BA} = r_2 I_2 - \epsilon_2 \rightarrow U_{AB} = \epsilon_2 - r_2 I_2 \quad (2)$$

$$\text{Xét nhánh } ARB : U_{AB} = IR \quad (3)$$

$$\text{Tại nút A : } I = I_1 + I_2 \quad (4)$$

$$\text{Từ (1), (2), (3) và (4) suy ra : } U_{AB} = \frac{\frac{\epsilon_1}{r_1} + \frac{\epsilon_2}{r_2}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}}$$

$$\text{Thay số ta được } U_{AB} = 12V. \text{ Từ đó : } I_1 = \frac{\epsilon_1 - U_{AB}}{r_1} = -1A ;$$

$$I_2 = \frac{\epsilon_2 - U_{AB}}{r_2} = 4A ; I = \frac{U_{AB}}{R} = 3A.$$

Chiều của I_2 và I đúng như đã giả thiết, còn dòng I_1 thì từ A sang B (ϵ_1 trở thành máy thu điện).

5.9. Giả sử cực dương của ϵ_2 mắc vào điểm A và chiều các dòng điện I_1 và I_3 như trên hình 5.54. Áp dụng phương pháp Kiếcsốp. Mạch điện có 2 nút (3 và 6) nên ta thiết lập được một phương trình về nút.

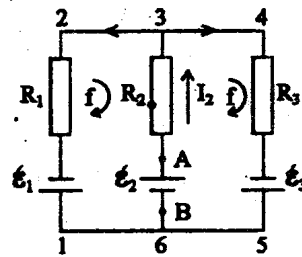
Xét nút 3 chẳng hạn, ta có :

$$I_2 - I_1 - I_3 = 0 \quad (1)$$

Xét mắt 12361 và mắt 34563, ta có các phương trình (chiều f như trên hình vẽ).

$$-\epsilon_1 - \epsilon_2 = -I_1(R_1 + r_1) - I_2 R_2 \quad (2)$$

$$\epsilon_2 + \epsilon_3 = I_2 R_3 + I_3(R_3 + r_3) \quad (3)$$



Hình 5.54

5.12. 1) *K mở* : Ampe kế A_3 chỉ số 0. Số chỉ của Ampe kế A_1 và A_2 là :

$$I_1 = \frac{U_{AB}}{R_1 + R_2} = 0,82A ; I_2 = \frac{U_{AB}}{R_{EF}} = 0,41A$$

2) *K đóng* : a) Mạch cân bằng ($V_C = V_D$), suy ra :

$$\frac{R_1}{R_{EC}} = \frac{R_2}{R_{CF}} + \frac{R_1 + R_2}{R_{EC} + R_{CF}} = \frac{R_1 + R_2}{R_b} \rightarrow \frac{R_{EC}}{R_b} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{9}{15} = \frac{3}{5}$$

Phải di chuyển con chạy C đến vị trí cách E một đoạn bằng $\frac{3}{5}EF$.

b) A_1 và A_2 chỉ cùng một giá trị ($I_1 = I_2$) chập C với D làm một. Ta có :

$$U_{AC} = I_1 R_1 = I_2 \cdot R_{EC} \rightarrow R_{EC} = R_1 = 9\Omega \rightarrow R_{CF} = 21\Omega.$$

$$\text{Từ đó } R_{AB} = \frac{R_1 \cdot R_{EC}}{R_1 + R_{EC}} + \frac{R_2 \cdot R_{EC}}{R_2 + R_{CF}} = \frac{55}{6}\Omega$$

$$\text{Cường độ dòng điện mạch chính : } I = \frac{U_{AB}}{R_{AB}} = 1,344A$$

$$\text{Do đó số chỉ của } A_1 \text{ và } A_2 \text{ là : } I_1 = I_2 = \frac{I}{2} = 0,672A$$

$$\text{Con chạy C ở vị trí sao cho } \frac{EC}{EF} = \frac{9}{30} = \frac{3}{10}$$

+ A_1 và A_3 chỉ cùng một giá trị ($I_1 = I_3$) :

$$\begin{aligned} & * \text{ Nếu } I_3 \text{ chạy từ D đến C thì } I_{R2} = I_1 - I_3 = 0 \rightarrow U_{CB} = 0 \\ & \rightarrow U_{CB} = 0 \rightarrow C \text{ ở F. Khi đó : } I_1 = I_3 = \frac{U_{AB}}{R_1} \approx 1,369A \end{aligned}$$

* Nếu I_3 chạy từ C đến D thì $I_{R2} = I_{R1} + I_3 = 2I_1$. Ta có :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_{EC}}{R_1} \quad (1), \quad I_{CF} = I_2 - I_3 = I_2 - I_1 \quad \text{và}$$

$$\frac{I_{R2}}{I_{CF}} = \frac{R_{CF}}{R_2} = \frac{30 - R_{EC}}{R_2} = \frac{2I_1}{I_2 - I_1} \rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{30 - R_{EC}}{42 - R_{EC}} \quad (2).$$

Từ (1) và (2) suy ra : $R_{EC}^2 - 51 R_{EC} + 270 = 0$.

Giải ra ta được $R_{EC} = 6\Omega$ và $R_{EC} = 45\Omega$ (loại).

Như vậy C phải ở vị trí sao cho $\frac{EC}{EF} = \frac{6}{30} = \frac{1}{5}$.

Ta có $U_{AB} = 12,32 = R_1 I_1 + R_2 I_{R2} = R_1 I_1 + 2R_2 I_1 \rightarrow I_1 = 0,587A = I_3$

+ A_2 và A_3 chỉ cùng một giá trị ($I_2 = I_3$). Giải tương tự như trên ta được : $I_2 = I_3 = 2,053A$ và C phải ở vị trí sao cho $\frac{EC}{EF} = \frac{33}{40}$.

5.13. Gọi I, I_1 và I_2 là cường độ dòng điện qua A_1, A_2 và A_3 . Ta có : $I_1 = I_2 + I_{ERF} \rightarrow I_{ERF} = I_1 - I_2 = 0,6A$. Ta lại có :

$U_{EF} = I_{ERF} \cdot R = 0,6R = I_2(2R + R_A)$ (R_A là điện trở ampe kế), suy ra $R_A = R = 5\Omega$.

Mặt khác $U_{CD} = U_{CF} + U_{EF} + U_{FD} = 2,2R = 11V$, từ đó $I_{CD} = \frac{U_{CD}}{R} = 2,2A$ và do đó $I = I_1 + I_{CD} = 3A$: Ampe kế A_1 chỉ 3A.

Ta có $U_{AB} = (R + R_A)I + U_{CD} = 41V$, và, từ đó $R_{AB} = \frac{U_{AB}}{I} \approx 13,67\Omega$.

5.14. Khi K ngắt, các điện trở mạch ngoài mắc theo sơ đồ :

$$R_5 \text{ nt } [(R_1 \text{ nt } R_3) // (R_2 \text{ nt } R_4)]$$

Vì $R_1 + R_3 = R_2 + R_4 = 8\Omega$ nên $I_1 = I_2 = \frac{I}{2}$ (I là cường độ dòng điện mạch chính). Số chỉ vôn kế :

$$U_{CD} = U_{CA} + U_{AD} = U_{AD} - V_{AC} = R_2 I_2 - R_1 I_1 = 4I_2 = 2I.$$

Theo đề bài : $U_{CD} = 2,4V$, suy ra $I = 1,2A$. Áp dụng định luật Ôm : $\xi = (R + r)I$ với $R = R_5 + \frac{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)}{R_1 + R_3 + R_2 + R_4} = 9\Omega$; suy ra $\xi = 10I = 12V$.

Khi K đóng, sơ đồ mắc điện trở mạch ngoài là : $R_5 \text{ nt } [(R_1 \text{ nt } R_3) // (R_2 \text{ nt } R_4) // R_6]$.

Vì $R_1 + R_3 = R_2 + R_4 = 8\Omega$ nên ta có : $I_1 = I_2$.

Số chỉ vôn kế : $U_{CD} = R_2 I_2 - I_1 R_1 = 4I_1$.

Theo đề bài $U_{CD} = 1,5V$, suy ra $I_1 = I_2 = 0,375A$, và $U_{AB} = (R_1 + R_2) I_1 = 3V$. Mặt khác, theo định luật Ôm :

$$U_{AB} = \xi - (r + R_5)I, \text{ suy ra } I = \frac{\xi - U_{AB}}{r + R_5} = 1,5A.$$

Như vậy : $I_6 = I - (I_1 + I_2) = 0,75A$ và $R_6 = \frac{U_{AB}}{I_6} = 4\Omega$

5.15. Khi K đóng, vẽ lại mạch sẽ thấy rằng các điện trở mắc theo mạch cầu, và vì ampe kế chỉ số 0 ($I_5 = 0$) nên ta có mạch cầu cân bằng, suy ra $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \rightarrow R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_3} = 2\Omega$

Chập C với D, điện trở mạch ngoài bằng :

$$R = \frac{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)}{R_1 + R_3 + R_2 + R_4} = 2\Omega. \text{ Do đó : } I = \frac{\xi}{R + r} = 1,25A.$$

Công suất của nguồn : $P_1 = \xi I = 3,75W$.

* Khi K ngắt, vẽ lại mạch điện. Dòng qua R_4 và R_5 đều bằng $I_A = 0,2A$, do đó dòng qua R_3 là $I_3 = I' - I_A = I' - 0,2$ và $U_{CB} = R_3 I_3 = 2(I' - 0,2)$ (1) (với I' là dòng điện mạch chính).

Mặt khác ta lại có : $U_{CB} = \xi - (r + R_1)I' = 3 - 1,4 I'$ (2)

Từ (1) và (2) suy ra : $I' = 1A$, và $U_{CB} = 1,6V$. Ta có $U_{DB} = R_4 \cdot I_A = 0,8V$, từ đó $U_{CD} = U_{CB} - U_{DB} = 0,8$ và do đó $R_5 = \frac{U_{CD}}{I_A} = 4\Omega$.

Công suất của nguồn : $P_2 = \xi I' = 3W$.

5.16. 1) Điện trở của bóng đèn $R_d = \frac{U^2}{P} = 3\Omega$. Vôn kế V chỉ số 0 tức là $U_{CB} = 0$. Theo định luật Ôm: $U_{CB} = \xi_2 - r_2 I$ (I là cường độ dòng điện mạch chính qua ξ_1 và ξ_2), từ đó $\xi_2 - r_2 I = 0$, suy ra $I = \frac{\xi_2}{r_2} = 1A$; hơn nữa $U_{AB} = (\xi_1 + \xi_2 A) - (r_1 + r_2) I = 2V$,

và cường độ qua bóng đèn là $I_1 = \frac{U_{AB}}{R_d} = \frac{2}{3}A$.

Vì $U_{AB} = U_d < 3V$, nên đèn sáng yếu hơn bình thường. Cường độ dòng điện qua biến trở: $I_2 = I - I_1 = \frac{1}{3}A$, suy ra giá trị của biến trở khi đó bằng: $R = \frac{U_{AB}}{I_2} = 6\Omega$.

Điện trở tương đương của mạch ngoài $R' = \frac{1}{\frac{1}{R_d} + \frac{1}{R_b}}$, tăng lên khi R_b tăng lên từ giá trị R . Cường độ dòng điện mạch chính $I = \frac{\xi_1 + \xi_2}{R' + r_1 + r_2}$ giảm đi khi R_b tăng: Từ đó

$U_{AB} = (\xi_1 + \xi_2) - (r_1 + r_2)I$ và $U_V = \xi_2 - r_2 I$ tăng lên khi R_b tăng, nghĩa là độ sáng của bóng đèn Đ và số chỉ U_V của vôn kế tăng lên khi R_b tăng.

5.17. Gọi I, I_1, I_2 lần lượt là dòng điện chính, dòng điện qua V_1 và dòng điện qua đoạn mạch ACDB. Ta có $U_{AB} = \xi - rI$, và theo đề bài $U_{AB} = U_{V1} = 110V$, suy ra $I = \frac{150}{R}$.

Gọi R_0 là tổng điện trở của toàn mạch điện ($R_0 = R_{AB} + r$, với R_{AB} là điện trở mạch ngoài), ta có:

$$R_0 = R_{AB} + r = \frac{\xi}{I} = R \rightarrow R_{AB} = R - r = \frac{11R}{15}.$$

Mặt khác, các điện trở ở mạch ngoài mắc theo sơ đồ:

$R_V // \{R \text{ nt } [R // (R \text{ nt } R_V \text{ nt } R)] \text{ nt } R\}$, do đó:
 $R_{AB} = \frac{RR_V(8R + 3R_V)}{8R^2 + 6RR_V + R_V^2}$ (2), thay $R_{AB} = \frac{11R}{15}$ và giải phương trình ta được: $R_V = R$ (loại nghiệm âm bằng $-\frac{44R}{17}$).

Từ đó điện trở tương đương của các đoạn mạch CD và ACDB là:

$$R_{CD} = \frac{R(2R + R_V)}{3R + R_V} = \frac{3R}{4} \text{ và } R_{ACDB} = \frac{8R^2 + 3RR_V}{3R + R_V} = \frac{11R}{4}$$

Ta có $I_2 = \frac{U_{AB}}{R_{ACDB}} = \frac{40}{R}$, từ đó $U_{CD} = R_{CD} \cdot I_2 = 30V$.

Cường độ dòng điện qua mạch CV_2D : $I_3 = \frac{U_{CD}}{3R} = \frac{10}{R}$ và từ đó số chỉ của vôn kế V_2 bằng $U_{V2} = I_3 \cdot R_V = 10V$.

5.18. 1) Khi K đóng, chập A và F làm một, khi đó trên đoạn mạch AFDB ta có: $(R_1 // R_4) \text{ nt } R_2$. Gọi I_1, I_2, I_3 và I_4 và I là dòng điện qua R_1, R_2, R_3, R_4 và dòng điện mạch chính. Ta có $U_{AD} = I_4 R_4 = I_1 R_1 = 0,36R_4$, suy ra:

$$I_1 = \frac{U_{AD}}{R_1} = 0,12R_4; I_2 = I_1 + I_4 = 0,12R_4 + 0,36 = 0,12(R_4 + 3);$$

$$U_{AB} = I_3 R_3 = R_4 I_4 + R_2 I_2 = 0,36(2R_4 + 3) \quad (1),$$

suy ra $I_3 = 0,12(2R_4 + 3)$, và $I = I_2 + I_3 = 0,36(R_4 + 2)$.

$$\text{Mặt khác: } U_{AB} = \xi - rI = 7,2 - 0,792(R_4 + 2) \quad (2).$$

Từ (1) và (2) suy ra $R_4 = 3\Omega$.

Dòng điện qua K: $I_K = I - I_4 = 0,36(R_4 + 2) - 0,36 = 2,88A$.

2) Khi K ngắt, các điện trở mạch ngoài mắc theo sơ đồ:

$$R_4 \text{ nt } [(R_1 \text{ nt } R_3) // R_2].$$

Cường độ dòng điện qua Ampe kế bây giờ là dòng điện chính:

$$I' = \frac{\xi}{R_4 + \frac{(R_1 + R_3) \cdot R_2}{R_1 + R_3 + R_2} + r} = 1A$$

3) Điện tích của tụ điện :

Khi K đóng: $q_1 = C U_{DB} = C I_2 R_2 = 0,864 \cdot 10^{-6} C$;

Khi K ngắt: $q_2 = C \cdot U_{DB} = C [\xi - (r + R_4) I'] = 0,8 \cdot 10^{-6} C$.

5.19.1) Khi C ở chính giữa MN thì $R_{CM} = R_{CN} = \frac{R_{MN}}{2} = 5\Omega$

Điện trở tương đương mạch ngoài

$$R_n = R_1 + \frac{R_{CM} \cdot R_{CN}}{R_{CM} + R_{CN}} = 3,5\Omega.$$

$$\text{Cường độ dòng điện mạch chính : } I = \frac{\xi}{R_n + r} = 2A.$$

Số chỉ của vôn kế là : $U_V = U_{AM} = \xi - rI = 7V$.

Vì $R_{CM} = R_{CN}$ và $R_A \approx 0$ nên $I_1 = I_2 = \frac{I}{2} = 1A$: Ampe kế chỉ 1A.

2) Đặt $R_{CM} = x$ và $R_{CN} = 10 - x (0 \leq x \leq 10\Omega)$. Điện trở tương đương của C_{CM} và R_{CN} (mắc song song) :

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{x} + \frac{1}{10-x} = y \rightarrow R' = \frac{1}{y}.$$

Cường độ dòng điện mạch chính :

$$I = \frac{\xi}{R_1 + R' + r} = \frac{9}{1 + \frac{1}{y} + 1} = \frac{9y}{2y + 1}$$

Công suất tiêu thụ trong toàn biến trở bằng :

$$P = R' I^2 = \frac{81y}{(2y + 1)^2} = \frac{81}{(2\sqrt{y} + \frac{1}{\sqrt{y}})^2}$$

Xét mẫu số, ta thấy : $(2\sqrt{y})(\frac{1}{\sqrt{y}}) = 2 = \text{const}$,

suy ra P max, tức là $(2\sqrt{y} + \frac{1}{\sqrt{y}})$ min, khi $2\sqrt{y} = \frac{1}{\sqrt{y}}$

$$\rightarrow y = \frac{1}{2} = \frac{1}{x} + \frac{1}{10-x} \rightarrow x = 5 \pm \sqrt{5} \Omega.$$

$$P_{\max} = \frac{81 \cdot \frac{1}{2}}{(2 \cdot \frac{1}{2} + 1)^2} = 10,125W.$$

5.20.1) Chập A và D và các điện trở mạch ngoài mắc theo sơ đồ : $R_4 // [(R_1 // R_2) \text{ nt } R_3]$.

Gọi I_1, I_2, I_3, I_4 là dòng điện qua các điện trở R_1, R_2, R_3, R_4 . Vì $R_1 // R_2$ và $R_1 = R_2$ nên $I_1 = I_2$. Ta có $I = I_1 + I_A$, và $I_A = I_2 + I_4$ suy ra $I = 2I_A - I_4$ với $I_A = 0,5A$, nghĩa là $I = I - I_4$ (1)

$$\text{Điện trở mạch ngoài } R_{1234} = 20\Omega \text{ và cường độ dòng điện chính}$$

$$I = \frac{\xi}{r + R_{1234}} = \frac{\xi}{30} \quad (2), \text{ suy ra } U_{AB} = I_4 R_4 = \xi - rI$$

$$\rightarrow 30I_4 = \xi - 10 \cdot \frac{\xi}{30} = \frac{2\xi}{3} \rightarrow I_4 = \frac{2\xi}{90} \quad (3).$$

Từ (1), (2), (3) suy ra $\xi = 18V$.

Khi đổi chỗ nguồn ampe kế, vẽ lại mạch ta thấy sơ đồ chỉ khác trước ở chỗ R_3 và R_2 đổi chỗ cho nhau. Nhưng $R_2 = R_3$ cho nên các dòng điện của mạch vẫn như cũ, nghĩa là ampe kế không thay đổi số chỉ (Lưu ý rằng nếu mắc cực dương của nguồn với D thì dòng điện có chiều ngược lại).

5.21. Giả sử chiều các dòng điện như trên hình 5.66. Vì $r_1 = r_2 = 0$ nên $U_{AB} = \xi_1 = 3,6V$; $U_{DB} = U_{BC} = \xi_2 = 2,4V$.

Ta có $U_{AC} = U_{AB} + U_{BC} = 6V$. Từ đó $I_1 = \frac{U_{AB}}{R_1} = 0,3A$;

$I_2 = \frac{U_{DC}}{R_2} = 0,4A$; $I_3 = \frac{U_{AC}}{R_3} = 0,6A$. Do đó:

$$i_1 = I_1 + I_3 = 0,9A; i_2 = I_2 + I_3 = 1A; I_A = i_2 - I_2 = 0,6A.$$

5.22. 1) Vì nguồn $\mathcal{E}_1$ được dùng để nạp điện cho acquy cho nên cực dương (+) của nguồn nối với cực dương của bộ acquy và cực âm (-) của nguồn nối với cực âm của bộ acquy. Ta có sơ đồ ở hình 5.67.

2) Suất điện động và điện trở trong của bộ acquy là: $\mathcal{E}_2 = 3e = 6V$; $r_2 = 3,0,2 = 0,6 \Omega$. Chiều dòng điện trong mạch như trên hình 5.67. Áp dụng định luật Ôm ta có:

$$U_{AB} = \mathcal{E}_1 - r_1 I = 9 - 0,75I \quad (1)$$

$$U_{AB} = \mathcal{E}_2 + r_2 I_1 = 6 + 0,6 I_1 \quad (2)$$

$$U_{AB} = R_b \cdot I_2 = 18 I_2 \quad (3)$$

$$\text{Tại nút A: } I = I_1 + I_2 \quad (4)$$

Từ (1), (2), (3), (4) rút ra $I_1 = 2A$, $I_2 = 0,4A$ và $I = 2,4A$.

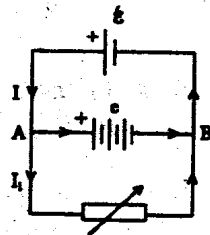
Công suất tiêu hao trên bộ acquy bằng:

$$P = \mathcal{E}_2 I_1 + r_2 I_1^2 = 14,4W.$$

3) Muốn tăng cường độ dòng điện nạp acquy I_1 , thì theo (2), ta phải tăng U_{AB} , nhưng muốn cho U_{AB} tăng thì theo (1), I phải giảm đi, do đó $I_2 = I - I_1$ giảm đi; thế nhưng muốn vậy thì theo (3), R_b phải tăng lên (để cho $U_{AB} = R_b I_2$ tăng lên). Vậy phải tăng R_b . Dòng I_2 lớn nhất có thể nạp cho acquy ứng với R_b lớn nhất, nghĩa là khi R_b lớn vô hạn (Trên thực tế đó là khi tháo biến trở khỏi AB). Khi đó không có dòng qua R_b , $I_2 = 0$, và mạch chỉ gồm nguồn và bộ acquy mắc xung đối và dòng nạp cho acquy lớn nhất bằng:

$$I_2 = I = \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{r_1 + r_2} = \frac{3}{1,35} = 2,22A.$$

Ghi chú: Trên thực tế khi nạp điện cho acquy người ta không mắc biến trở như trên.



Hình 5.67

5.23. 1) *K ngắt*: Mạch hở, trong mạch không có dòng điện, ta có $V_A = V_E = V_F$. Do đó: $U_1 = U_{ED} = U_{AD} = \mathcal{E}_1$; $U_2 = U_{FB} = U_{AB} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2$. Từ đó:

$$Q_1 = C_1 U_1 = C_1 \mathcal{E}_1 = 3\mu C, \text{ và bản dương nối với điểm E;}$$

$$Q_2 = C_2 U_2 = C_2 (\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2) = 3\mu C, \text{ và bản dương nối với điểm F.}$$

2) *K đóng*, các điện trở R_2, R_3, R_4 và đèn Đ mắc theo sơ đồ (không có dòng qua R_1): $[Đ // (R_2 \text{ nt } R_3)] \text{ nt } R_4$. Vì đèn Đ sáng bình thường nên $U_{AE} = U_d = 12V$,

$$\text{Từ đó } U_{AE} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 - (r_1 + r_2 + R_4)I,$$

$$\text{Suy ra } I = 2A \text{ và } I_2 = I_3 = I - I_d = 0,5A,$$

$$R_2 + R_3 = \frac{U_{AE}}{I_2} = 24 \rightarrow R_2 = 24 - R_3 = 16 \Omega.$$

$$\text{Xét điện tích các tụ điện: } U_1' = U_{DE} = \mathcal{E}_2 - (r_2 + R_4)I = 7V;$$

$Q_1' = C_1 U_1' = 3,5\mu C$, và bản dương nối với điểm D. Lượng điện tích chuyển qua R_1 liên quan đến điện tích của bản tụ C_1 nối với điểm E. Lúc đầu bản này có điện tích $Q_1 = 3\mu F$; sau khi đóng K điện tích của nó bằng $Q_1' = -3,5\mu C$.

$$\text{Suy ra: } \Delta Q_1 = Q_1' - Q_1 = -6,5\mu C.$$

Như vậy đã có một lượng điện tích dương là $6,5\mu C$ chuyển qua R_1 theo chiều từ C_1 đến E. Lượng điện tích chuyển qua R_3 liên quan đến điện tích của bản tụ điện C_2 nối với F. Lúc đầu bản này có điện tích $Q_2 = 3\mu C$. Sau khi đóng điện tích của bản đó $Q_2' = C_2 U_2'$ với:

$$U_2' = U_{FB} = U_{FE} + U_{EB} = R_3 I_2 + R_4 I = 5V \rightarrow Q_2' = 1\mu C.$$

$$(\text{Bản dương nối với điểm F}). \text{ Suy ra } \Delta Q_2 = Q_2' - Q_2 = -2\mu F$$

Như vậy là đã có một lượng điện tích dương là $2\mu C$ chạy ra khỏi bản, chuyển qua R_3 theo chiều từ F đến E.

5.24. 1) Vì hai đèn đều sáng bình thường, ta có

$$I_{d1} = \frac{P_1}{U_1} = 0,5A; I_{d2} = \frac{P_2}{U_2} = 2A; U_{AC} = U_{d1} = 6V;$$

$$U_{CB} = U_{d2} = 3V \rightarrow U_{AB} = U_{d1} + U_{d2} = 9V.$$

Áp dụng định luật Ôm $U_{AB} = \xi - rI$, suy ra $I = 2,5A$,
 và do đó $I_1 = I - I_{d1} = 2A; I_2 = I - I_{d2} = 0,5A$
 (I_1 và I_2 là cường độ dòng điện qua R_1 và R_2).

Từ đó $R_1 = \frac{U_{AC}}{I_1} = 3\Omega; R_2 = \frac{U_{CB}}{I_2} = 6\Omega$. Công suất tiêu
 thụ trong R_1 và R_2 : $P_1 = U_{AC} \cdot I_1 = 12W; P_2 = U_{CB} \cdot I_2 = 1,5W$.

2) Ta nhận thấy $I_{d2} = I_1$ và $I_{d1} = I_2$. Vì vậy có thể mắc
 như sau: $(\mathcal{E}_1 \text{ nt } R_2) // (\mathcal{E}_2 \text{ nt } R_1)$.

5.25. Điện trở mạch ngoài mắc theo sơ đồ:

$$R_2 // \{R_1 \text{ nt } R_3 \text{ nt } [R_4 // \text{ nt } (R_5 \text{ nt } R_6 \text{ nt } R_7)]\}.$$

Điện trở tương đương mạch ngoài

$$(R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R_7).$$

$$R = \frac{11}{15}R_0. \text{ Ta có } I_5 = I_6 = I_7; U_5 = U_6 = U_7 = R_0 I_6;$$

$$U_4 = U_5 + U_6 + U_7 = 3R_0 I_6 \rightarrow I_4 = 3I_6.$$

$$\text{Vậy } I_3 = I_1 = I_4 + I_6 = 4I_6; \rightarrow U_2 = U_1 + U_4 + U_3 =$$

$$= 4R_0 I_6 + 3R_0 I_6 + 4R_0 I_6 = 11R_0 I_6 \rightarrow I_2 = \frac{U_2}{R_0} = 11I_6.$$

Cường độ dòng điện trong mạch chính là:

$$I = I_2 + I_3 = 11I_6 + 4I_6 = 15I_6.$$

Công suất tiêu thụ ở đèn 6 và ở mạch ngoài:

$$P_6 = R_0 I_6^2 = 6W; P = RI^2 = \frac{11}{15}R_0 \cdot 15^2 \cdot I_6^2 = 990W.$$

Công suất tiêu thụ bên trong nguồn và của cả nguồn:

$$P' = rI^2 = 360W; P_{ng} = P + P' = 1350W.$$

$$\text{Hiệu suất của nguồn } H = \frac{P}{P_{ng}} = 73,3\%.$$

5.26.a) Công suất mạch điện = công suất ở bếp + công suất ở R_0 .
 Suy ra: $UI = P + rI^2$, hay $1,5I^2 - 120I + 666 = 0 \rightarrow I = 6A$ (Ta
 loại nghiệm $I = 74A$ vì khi đó $R = \frac{R}{I^2} \approx 0,12\Omega$, quá nhỏ,

không phù hợp thực tế). Suy ra $R = \frac{P}{I^2} = \frac{666}{6^2} = 18,5\Omega$ và
 hiệu điện thế ở bếp $U_b = RI \approx 111V$.

b) Ở $t_1 = 700^\circ C$ và $t_2 = 20^\circ C$ ta có:

$$R_1 = R_0 (1 + \alpha t_1); R_2 = R_0 (1 + \alpha t_2) \text{ suy ra}$$

$$R_2 = R_1 \cdot \frac{1 + \alpha \cdot 20}{1 + \alpha \cdot 700} = 16,3\Omega.$$

$$\text{Và từ đó ở } 20^\circ C, \text{ độ dài của dây là } l_2 = \frac{R_2 \cdot S}{\rho} = 3,7m.$$

$$c) \text{ ở } t_3 = 700 + 100 = 800^\circ C, R_3 = R_1 \frac{1 + 800\alpha}{1 + 700\alpha}, \text{ và công}$$

$$\text{suất của bếp lúc đó là: } P' = \frac{U^2}{R_3} \approx 765W \quad (U = 120V).$$

5.27. 1) Công suất toàn phần của động cơ và công suất
 tiêu hao thành nhiệt là:

$$P = UI = 6,75W; P' = RI_2 = 1,125W.$$

$$\text{Hiệu suất của động cơ } H = \frac{P - P'}{P} = 83,3\%.$$

2). Mắc thành dây, mỗi dây q nguồn ($pq = 18$). Suất điện động
 và điện trở trong của bộ nguồn: $E_b = q_e = \frac{36}{p'}$; $r_b = \frac{P_r}{p} = \frac{36}{p^2}$

Áp dụng định luật Ôm ta có:

$$U = E_b - r_b I, \text{ với } U = 9V; I = 0,75A,$$

$$\text{rút ra phương trình } 9p^2 - 36p + 27 = 0$$

Phương trình này có 2 nghiệm: $p_1 = 1$ và $p_2 = 3$.

Vậy có hai cách mắc acquy để động cơ hoạt động bình thường:

+ Mắc 18 acquy thành 1 dãy nối tiếp ;

+ Mắc chúng thành 3 dãy, mỗi dãy 6 nguồn.

Cách mắc thứ nhất cho hiệu suất $H_1 = \frac{r_d}{r_d + r_b} = 25\%$,

còn cách mắc thứ hai cho hiệu suất $H_2 = 75\%$. Vậy phải mắc acquy theo cách thứ hai.

5.28. 1) Khi r_1 nt r_2 : $U_{DC} = U_1 = U_{AC} - U_{AD} = I_1 R_1 - I_3 R_3$,
với $I_1 = \frac{U_{AB}}{R_1 + R_2} = 0,4A$; $I_2 = \frac{U_{AB}}{R_3 + 2r} = \frac{12}{20 + 2r}$

$$\text{Suy ra } U_1 = \frac{4r - 200}{20 + 2r} \quad (1)$$

$$\text{Khi } r_1 // r_2, r_{12} = \frac{r}{2}, \text{ suy ra tương tự } U_2 = \frac{2r - 400}{40 + r} \quad (2)$$

Theo đề bài $U_2 = 3U_1$, rút ra $r = 20 \Omega$ (loại đi nghiệm $r = -100 < 0$).

Khi nhánh AD chỉ chứa $r_1 = r$, ta có $U_{AC} = I_1 R_1 = 2V$;

$$U'_{AD} = I_3 R_3 = \frac{U_{AB}}{R_3 + r} \cdot R_3 = 6V \rightarrow \text{vôn kế chỉ :}$$

$$U'_{DC} = U_{AC} - U'_{AD} = -4V \text{ (cực dương của vôn kế phải mắc vào C).}$$

$$2) \text{ Khi vôn kế chỉ số 0 ta có mạch cầu cân bằng: } \frac{R_{AC}}{R_{AD}} = \frac{R_{CB}}{R_{DB}} \quad (3)$$

a) Nếu chuyển chỗ một điện trở, để đảm bảo (3) được thỏa mãn, ta chuyển r_1 (hoặc r_2) lên nhánh AC, mắc nối tiếp với R_1 , vì khi đó $R_{AC} = r_1 + R_1 = 25 \Omega$; $R_{CB} = 25 \Omega$; $R_{AD} = R_3 = 20 \Omega$; còn $R_{DB} = r_2 = 20 \Omega$.

b) Ta thấy có thể đổi chỗ R_1 với r_1 (hoặc r_2), vì khi đó $R_{AC} = r_1 = 20 \Omega$; $R_{CB} = R_2 = 25 \Omega$; $R_{AD} = R_3 = 20 \Omega$; còn $R_{DB} = R_1 + r_2 = 25 \Omega$.

§ 6. DÒNG ĐIỆN TRONG CÁC MÔI TRƯỜNG

I. KIẾN THỨC CẦN NHỚ

1. Dòng điện trong kim loại

a) Các kim loại ở thể rắn có cấu trúc tinh thể. Trong tinh thể kim loại, ở các nút mạng là các ion dương, xung quanh ion dương là các electron tự do. Ở nhiệt độ bình thường, các ion trong mạng tinh thể chỉ dao động xung quanh các vị trí cân bằng của chúng, nói chung trật tự sắp xếp các ion không đổi, còn các electron tự do thì có thể chuyển động tự do trong khoảng không gian giữa các ion bên trong vật thể kim loại.

b) Dòng điện trong kim loại là dòng electron tự do chuyển dời có hướng.

c) Trong chuyển động các electron tự do luôn va chạm với các ion ở nút mạng và truyền một phần động năng cho chúng. Sự va chạm này là nguyên nhân gây ra điện trở của dây dẫn kim loại và cũng là nguyên nhân gây ra hiện tượng toả nhiệt của dây dẫn kim loại khi có dòng điện chạy qua.

2. Dòng điện trong chất điện phân

a) Sau khi hoà tan vào nước, các phân tử axit, bazơ hay muối sẽ bị phân li thành các ion dương và âm. Ở nhiệt độ xác định, trong mỗi dung dịch nồng độ ion hoàn toàn xác định. Sự phân li là nguyên nhân làm dung dịch axit, bazơ hay muối dẫn điện.

b) Dòng điện trong chất điện phân là dòng điện chuyển dời có hướng của các ion dương theo chiều điện trường và các ion âm ngược chiều điện trường.

c) Khi các ion chuyển dời đến các điện cực, chúng trao đổi electron với điện cực để trở thành nguyên tử hay phân tử trung hoà; các nguyên tử hay phân tử trung hoà này có thể bám vào cực, hoặc bay lên khỏi dung dịch điện phân, hoặc tác dụng với điện cực và dung môi, gây nên các phản ứng hoá học khác (Các phản ứng phụ). Một trong các phản ứng phụ quan trọng là

phản ứng *đương cực tan*, xảy ra khi điện phân dung dịch muối kim loại mà anôt làm bằng chính kim loại ấy. Ví dụ : điện phân dung dịch đồng sunfat (CuSO_4) với anôt bằng đồng; hoặc điện phân dung dịch bạc nitrat (AgNO_3) với anôt bằng bạc.

c) Dòng điện trong chất điện phân chỉ tuân theo định luật Ôm $I = \frac{U}{R}$ khi có hiện tượng đương cực tan.

Ở bình điện phân có cực dương không tan, trong quá trình điện phân hai cực có thể khác nhau, thường xuất hiện suất phản điện $\mathcal{E}$ và định luật Ôm bây giờ có dạng : $I = \frac{U - \mathcal{E}}{R}$

d) *Định luật Faraday về hiện tượng điện phân* : Khối lượng m của chất được giải phóng ra ở điện cực tỉ lệ với đương lượng hoá học $\frac{A}{n}$ của chất đó và với điện lượng

q đi qua dung dịch điện phân $m = k \frac{A}{n} q = k \frac{A}{n} It$ (A là nguyên tử lượng, n là hoá trị của chất đó, k là hệ số tỉ lệ ($k = \frac{1}{F}$, $F = 9,65 \cdot 10^7 \text{C/mol}$). Nếu m tính bằng gam :

$$m(g) = \frac{1}{96500} \frac{A}{n} It.$$

3. Dòng điện trong chất khí

a) Khi đốt nóng hoặc dùng các loại bức xạ khác (như tia tử ngoại, tia rơnghen...) (dùng tác nhân ion hoá) tác động vào môi trường khí thì trong chất khí xuất hiện ion dương, ion âm và electron (*chất khí bị ion hoá*).

b) Dòng điện trong chất khí là dòng chuyển dời có hướng của các ion dương theo chiều điện trường và các ion âm và electron ngược chiều điện trường.

c) Dòng điện trong chất khí chỉ tuân theo định luật Ôm ở hiệu điện thế thấp. Còn ở hiệu điện thế cao dòng điện lại tăng đột ngột do sự ion hoá do va chạm (electron có động năng lớn va chạm vào phân tử khí, làm ion hoá phân tử khí).

4. Dòng điện trong chân không

a) Khi nung nóng kim loại đến nhiệt độ cao, các electron bên trong kim loại có thể bứt ra khỏi mặt kim loại (*sự phát xạ nhiệt electron*).

b) Dòng điện trong chân không là dòng chuyển dời có hướng của các electron bứt ra từ catôt kim loại bị nung nóng.

c) Dòng điện chạy qua chân không chỉ theo một chiều từ anôt đến catôt. Chỉ với hiệu điện thế nhỏ, dòng điện trong chân không mới tuân theo định luật Ôm.

5. Dòng điện trong bán dẫn

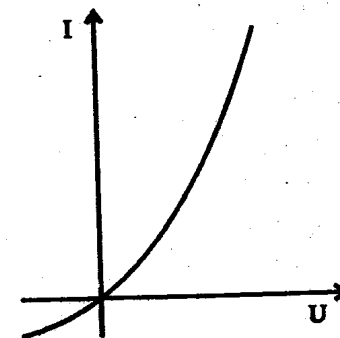
a) Dòng điện trong *bán dẫn tinh khiết* là dòng chuyển dời có hướng đồng thời của các electron tự do và lỗ trống dưới tác dụng của điện trường.

c) *Tạp chất* có ảnh hưởng rất lớn đến sự dẫn điện của bán dẫn (chỉ cần pha một lượng rất ít tạp chất cũng đủ làm cho độ dẫn điện của bán dẫn tăng lên hàng vạn, hàng triệu lần). Tùy theo loại tạp chất pha vào bán dẫn tinh khiết, các bán dẫn được chia làm hai loại:

– Bán dẫn loại *n* (pha tạp chất Asen vào tinh thể silic chẳng hạn) hạt mang điện cơ bản là electron, còn lỗ trống là hạt mang điện không cơ bản;



Hình 6.1



Hình 6.2

– Bán dẫn loại p (pha tạp chất bo vào tinh thể silic chẳng hạn) : hạt mang điện cơ bản là lỗ trống, còn electron tự do là hạt mang điện không cơ bản.

c) Lớp tiếp xúc giữa hai loại bán dẫn p và n (lớp tiếp xúc p-n) có tính dẫn điện chủ yếu theo một chiều từ p sang n.

Sự phụ thuộc của cường độ dòng điện vào hiệu điện thế ở một *điốt bán dẫn* có lớp tiếp xúc p-n (kí hiệu như trên hình 6.1) được biểu diễn bằng đồ thị trên hình 6.2 (đường cong biểu diễn được gọi là đường đặc trưng (hay đặc tuyến) vôn - ampe).

II. BÀI TẬP THÍ DỤ

1. **Thí dụ 1.** Một dây dẫn bằng đồng, đường kính tiết diện là $d = 1 \text{ mm}$, có cường độ dòng điện $I = 2 \text{ A}$ chạy qua. Cho biết mật độ electron tự do là $n_0 = 8,45 \cdot 10^{28} \text{ electron/m}^3$, hãy tính vận tốc trung bình của các electron trong chuyển động có hướng của chúng.

A. Lời giải. Trong khoảng thời gian Δt , số electron đi qua tiết diện S của dây dẫn bằng số electron N chứa trong hình trụ đáy S , chiều cao $\Delta l = \bar{v} \cdot \Delta t$, với $\bar{v}$ là vận tốc trung bình của chuyển động có hướng của electron : $N = S \cdot \bar{v} \cdot \Delta t \cdot n_0$. Lượng điện tích chuyển qua tiết diện S của dây dẫn bằng : $\Delta q = Ne = eS \bar{v} \Delta t \cdot n_0$. Do đó, theo định nghĩa, cường độ dòng điện I chạy trong dây dẫn bằng :

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = n_0 e S \bar{v}$$

$$\text{Từ đó : } \bar{v} = \frac{I}{n_0 e S} = \frac{4I}{\pi d^2 n_0 e}$$

Thay số: $I = 2 \text{ A}$; $d = 1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$;

$n_0 = 8,45 \cdot 10^{28} \text{ electron/m}^3$; $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$,

ta được $\bar{v} \approx 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ m/s} = 0,17 \text{ mm/s}$.

B. Chú ý : Đây là loại bài toán về chuyển động có hướng của hạt mang điện, tạo nên dòng điện chạy trong các môi trường. Ở đây, vì là dây dẫn kim loại nên hạt mang điện (thường gọi là hạt mang dòng hay phần tử tải điện) là electron. So với vận tốc của chuyển động nhiệt hỗn độn $\bar{v}_T$ ($\bar{v}_T$ có giá trị vào cỡ) thì vận tốc $\bar{v}$ là rất nhỏ. Với hiệu điện thế U đặt vào dây dẫn hoặc điện trường không quá lớn thì $\bar{v}$ được tính theo công thức $\bar{v} = bE$, với b được gọi là độ linh động của hạt mang điện, còn $E = \frac{U}{l}$ là cường độ điện trường tác dụng lên hạt mang điện (l là chiều dài dây dẫn). Trong trường hợp dây dẫn kim loại, áp dụng các công thức $I = \frac{U}{R}$, $I = n_0 e S \bar{v}$, $\bar{v} = bE = b \frac{U}{l}$ và $R = \rho \frac{l}{S}$ ta suy ra biểu thức của độ linh động của electron :

$$b = \frac{l}{n_0 e S R} = \frac{l}{\rho n_0 e}$$

Với các môi trường khác nhau và với các loại hạt tải điện khác nhau b có biểu thức và giá trị khác nhau.

C. Bài tập tương tự. 6.1 ; 6.2 (xem III. Bài tập luyện tập)

2. **Thí dụ 2.** Điện phân dung dịch a xít sunfuric với các cực platin, ta thu được khí hiđrô và ôxi ở các điện cực. Tính thể tích khí thu được ở mỗi điện cực (ở điều kiện chuẩn) nếu dòng điện qua bình điện phân có cường độ $I = 5 \text{ A}$ trong thời gian 1 giờ 4 phút 20 giây.

A. Lời giải. Khối lượng hiđrô thu được ở catốt là :

$$m_1 = \frac{1}{F} \frac{A}{n} \cdot It \text{ Thay số } A = 1 ; n = 1 ; I = 5 \text{ A} ; t = 3860 \text{ s}$$

ta được $m_1 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ kg} = 0,2 \text{ g}$. Hiđrô tạo nên ở catốt tồn tại dưới dạng phân tử khí hiđrô. Ta biết một mol khí hiđrô (có khối lượng 2g) ở điều kiện chuẩn có thể tích là $22,4 \text{ lít} = 22400 \text{ cm}^3$. Vậy thể tích khí hiđrô thu được bằng :

$$V_1 = \frac{0,2}{2} 22400 = 2240 \text{ cm}^3$$

Khối lượng ôxi thu được ở anôt được tính theo công thức tương tự như trên, với $A = 16$, $n = 2$ và bằng $m_2 = 1,6g$. Thể tích ôxi thu được bằng :

$$V_2 = \frac{1,6}{32} \cdot 2240 = 1120 \text{ cm}^3$$

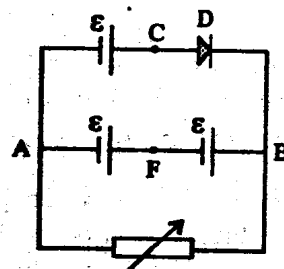
B. Chú ý. Đây là loại bài toán áp dụng định luật Faraday về hiện tượng điện phân. Nếu khối lượng chất thoát ra tính bằng gam thì ta áp dụng công thức :

$$m(g) = \frac{1}{96500} \cdot \frac{A}{n} It. \text{ Dựa theo các công thức Faraday, biết 3}$$

trong 4 đại lượng m , $A(n)$, I , t , suy ra đại lượng thứ tư. Nếu điện phân không có dương cực tan thì bình điện phân được coi như máy thu điện có suất phản điện $\mathcal{E}'$ giải và bài toán được giải theo các phương pháp nêu ở chủ đề 5.

C. Bài tập tương tự. 6.3 (xem III. Bài tập luyện tập)

3. Thí dụ 3. Cho mạch điện có sơ đồ như ở hình 6.4, trong đó : Ba nguồn như nhau, có suất điện động bằng E , điện trở trong bằng r ; R là biến trở có giá trị tổng cộng khá lớn ; D là điốt lí tưởng (có điện trở theo chiều thuận bằng không còn theo chiều ngược là vô cùng lớn). Hãy tìm sự phụ thuộc của hiệu điện thế U_R trên biến trở theo giá trị R của nó.



Hình 6.4

A. Lời giải. Khi giá trị R của biến trở là khá lớn thì cường độ dòng điện đi qua biến trở là rất nhỏ và $U_{AB} \approx 2E$; khi đó $V_B \approx 2E$ (nếu đặt $V_A = 0$), nghĩa là $V_B > V_C$ (vì V_C chỉ có giá trị tối đa bằng E). Do đó điốt không cho dòng điện đi qua : điốt bị đóng. Khi đó coi như không có nhánh chứa điốt và dòng điện qua biến trở (qua mạch AFBRA) bằng $I = \frac{2E}{2r + R}$, từ đó hiệu điện

thế trên biến trở bằng : $U_R = \frac{2ER}{2r + R}$

Điện trở R của biến trở càng giảm (từ giá trị rất lớn nói trên) thì dòng điện I trong mạch càng tăng, độ giảm điện thế trên các điện trở trong r của các nguồn càng tăng, còn $U_{BA} = 2E - I \cdot 2r$ thì càng giảm. Hiện tượng này xảy ra cho đến khi V_B giảm đến giá trị bằng V_C (hay $U_{BC} = 0$). Ta tính giá trị R_0 của biến trở khi $V_B = V_C$. Khi đó, vì điốt còn đóng nên

$$U_{BA} = U_{CA} = E, \text{ nghĩa là ta có } U_{R0} = \frac{2ER_0}{2r + R_0} = E, \text{ suy ra } R_0 = 2r.$$

Bây giờ ta tìm giá trị của U_R khi $R < R_0$. Khi $R < R_0$ thì $V_C > V_B$, điốt được mở (có dòng đi qua) nhưng vì điện trở điốt bằng không nên ta vẫn có $U_{CB} = 0$. Gọi I_1 , I_2 và I' tương ứng là dòng điện đi qua điốt, qua đoạn mạch AFB và qua biến trở, áp dụng định luật Ôm ta có :

$$U_R' = I'R = E - I_1 r = 2E - I_2 \cdot 2r, \text{ và ngoài ra } I' = I_1 + I_2.$$

$$\text{Từ đó rút ra : } I' = \frac{4E}{2r + 3R} \text{ và } U_R' = \frac{4ER}{2r + 3R}$$

$$\text{Như vậy : Khi } R \geq R_0 = 2r ; U_R = \frac{2ER}{2r + R}, \text{ và khi}$$

$$R < R_0 \text{ thì } U_R = \frac{4ER}{2r + 3R}.$$

B. Chú ý. Đây là loại bài toán về mạch điện có điốt bán dẫn, thường chỉ xét điốt lí tưởng. Cần phân tích kĩ trường hợp nào thì điốt đóng, trường hợp nào thì điốt mở (cho dòng điện chạy qua) và áp dụng các định luật Ôm cho mạch điện để tìm lời giải. (Cần lưu ý rằng, dù điốt đóng hay mở hiệu điện thế giữa hai cực của nó luôn luôn bằng không, với trường hợp điốt lí tưởng mà ta xét).

C. Bài tập tương tự : 6.4 (xem III. Bài tập luyện tập)

III. BÀI TẬP LUYỆN TẬP

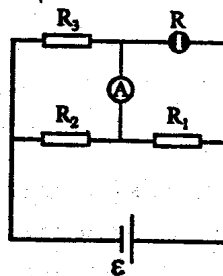
6.1. Một diốt bán dẫn có lớp tiếp xúc p - n dày 10^{-4} cm. Khi không có điện trường ngoài, giữa hai mặt của lớp tiếp xúc người ta đo được hiệu điện thế 0,4V.

Giải thích hiện tượng

Tính cường độ điện trường tạo ra bên trong lớp tiếp xúc này.

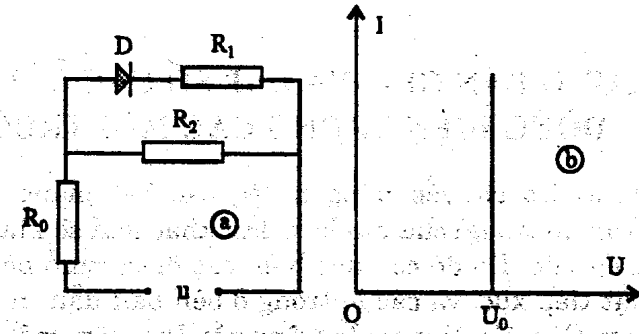
6.2. Mật độ dòng điện trong chất điện phân bằng tổng mật độ dòng các ion dương $i_+ = n_+ q v_+$ và mật độ dòng các ion âm $i_- = n_- q v_-$; $i = i_+ + i_- = q(n_+ v_+ + n_- v_-)$, trong đó q là điện tích của mỗi ion (được coi là có độ lớn bằng nhau); n_+ , n_- , v_+ , v_- là mật độ và vận tốc trung bình của các ion dương và âm. Tại sao khối lượng vật chất thoát ra ở điện cực, ở catốt chẳng hạn, lại tỉ lệ thuận với i (và do đó với dòng điện I), chứ không phải với i_+ ?

6.3. Cho mạch điện có sơ đồ như hình 6.6, trong đó $\varepsilon = 2,5V$; $r = 0$; $R_1 = 4\Omega$; $R_2 = 6\Omega$; $R_3 = 1,5\Omega$; B là bình điện phân dung dịch $AgNO_3$, các điện cực bằng bạc ($A = 108$; $n = 1$). Ampe kế chỉ số 0. Tính điện trở bình điện phân. Tính lượng bạc được giải phóng ở catốt trong thời gian 32 phút 10 giây.



Hình 6.6

6.4. Cho mạch điện có sơ đồ như trên hình 6.7, trong đó: D là diốt bán dẫn có đường đặc trưng vôn ampe như trên hình 6.7b: $R_1 = R_2 = R$; nguồn u có hiệu điện thế biến thiên theo thời gian $u(t) = U_M \cos \omega t$, với $U_M > U_0$. Xác định cường độ dòng điện qua R_0 .



Hình 6.7

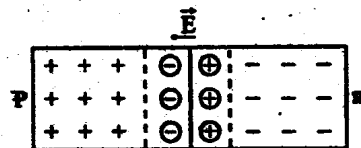
6.5. Cho biết quãng đường tự do trung bình của một electron trong không khí ở áp suất thường là $\lambda = 5.10^{-6}$ m và muốn thực hiện sự ion hoá do va chạm thì electron phải có năng lượng khoảng $2,4.10^{-20}$ J. Hãy tính cường độ của điện trường mà trong đó có thể xảy ra ion hoá do va chạm.

6.6. Cho một mạch điện gồm có một nguồn điện ($\varepsilon = 4V$; $r = 0,2\Omega$) cung cấp dòng điện cho một bình điện phân dung dịch $CuSO_4$ với anốt làm bằng platin. Biết suất phản điện và điện trở của bình điện phân $\varepsilon' = 2V$, $r' = 1,8\Omega$ và lượng đồng bám vào catốt là $m = 1,2g$. Hãy tính điện lượng, cường độ dòng điện qua bình điện phân và thời gian điện phân.

6.7. Cho mạch điện như trên hình 6.8, trong đó $\varepsilon = 13,5V$; $r = 1\Omega$; $R_1 = 3\Omega$; $R_3 = R_4 = 4\Omega$; $R_5 = 0$; R_2 là bình điện phân dung dịch $CuSO_4$ có các điện cực bằng đồng. Biết rằng sau 16 phút 5 giây điện phân, khối lượng đồng được giải phóng ở catốt là 0,48g. Hãy tìm cường độ dòng điện qua bình điện phân (I_2), R_2 , số chỉ ampe kế và công suất tiêu thụ ở mạch ngoài.

HƯỚNG DẪN GIẢI VÀ ĐÁP SỐ CÁC BÀI TẬP VỀ DÒNG ĐIỆN TRONG CÁC MÔI TRƯỜNG

6.1. a) Do chuyển động nhiệt, các hạt mang điện cơ bản (electron, lỗ trống) của hai bán dẫn khác loại sẽ khuếch tán qua mặt tiếp xúc. Do đó có xuất hiện các electron ở bên bán dẫn p sát mặt tiếp xúc, và các lỗ trống ở bên bán dẫn n sát mặt tiếp xúc này. Các electron và lỗ trống này tạo nên một điện trường ngày càng lớn ngăn cản các electron và lỗ trống khác tiếp tục khuếch tán qua mặt tiếp xúc. Và cuối cùng chúng tạo nên một điện trường ổn định trong lớp tiếp xúc, và do đó có xuất hiện một hiệu điện thế giữa hai mặt của lớp tiếp xúc.



Hình 6.5

b) Cường độ điện trường: $E = \frac{U}{d} = 4105 \text{ V/m}$

6.2. Trong mỗi giây có $n_+ \bar{v}_+ S$ (S là phần diện tích của catốt nhúng trong dung dịch) ion dương đi tới catốt, đồng thời có $n_- \bar{v}_- S$ ion âm đi khỏi phần dung dịch sát catốt. Trong quá trình ion âm rời xa catốt sự cân bằng động bị phá vỡ, khả năng phân li tăng lên làm phát sinh $n_- \bar{v}_- S$ ion âm từ các phân tử trung hoà của dung dịch, và do đó cũng có thêm $n_+ \bar{v}_+ S$ ion dương. Các ion dương lẻ đôi này cũng thoát ra ở catốt, do đó khối lượng chất xuất hiện ở catốt tỉ lệ thuận với toàn bộ mật độ dòng điện i , chứ không phải chỉ với i_- .

6.3. Mạch cầu cân bằng. Ta có $\frac{R}{R_1} = \frac{R_3}{R_2} \rightarrow R = 1 \Omega$

Mặt khác $U_{AB} = \varepsilon = 2,5 \text{ V}$ (vì $r = 0$), do đó cường độ dòng điện qua bình điện phân bằng $I_b = \frac{U_{AB}}{R_3 + R} = 1 \text{ A}$

Khối lượng bạc được giải phóng $m = \frac{1}{f} \frac{A}{n} \cdot I_b t = 2,16 \text{ g}$

6.4. Khi $t = 0$, $n(t) = U_M > U_0$; diốt mở, hiệu điện thế giữa hai cực của nó bằng U_0 (xem hình 6.7b). Sau đó $U(t)$ biến thiên với thời gian một cách tuần hoàn, lúc tăng lúc giảm, do đó, có lúc $u(t) < U_0$ thì diốt đóng (không có dòng qua R_1) và có lúc $u(t) > U_0$, diốt mở (có dòng điện qua R_1). Ta tìm cường độ dòng điện qua R_0 khi diốt đóng và khi diốt mở. Khi $u(t) < U_0$, diốt đóng và dòng điện chỉ chạy trong mạch có R_0 và R_1 mắc tiếp với

$$\text{cường độ } I_d = \frac{u}{R_0 + R} \quad (1)$$

Khi $u(t) \geq U_0$ diốt mở, hiệu điện thế ở hai cực của nó luôn bằng U_0 và không đổi. Áp dụng định luật Kiêcsôp ta có:

$$i_m = i_1 + i_2 \quad (2)$$

$$U_0 + i_2 R - i_1 R = 0 \quad (3)$$

$$i_1 R + i_n R_0 = u(t) \quad (4)$$

(Với i_m , i_1 và i_2 là dòng điện qua r_0 , R_1 và R_2).

$$\text{Từ (2), (3) và (4) ta có: } i_m = \frac{2u - U_0}{R + 2R_0} \quad (5)$$

Mạch chuyển từ chế độ diốt đóng sang chế độ diốt mở và ngược lại, tại các thời điểm t được xác định từ điều kiện

$$i_d = i_m \rightarrow u = U_0 \frac{R_0 + R}{R}$$

$$\rightarrow \cos \omega t = \frac{V_0}{V_M} \frac{R_0 + R}{R}$$

$$\rightarrow t = \frac{1}{\omega} \left[\arccos \left(\frac{U_0 (R_0 + R)}{U_M R} \right) + 2k\pi \right], \text{ với } k = 0, 1, 2, \dots$$

6.5. Muốn thu được năng lượng $W = 2,4 \cdot 10^{-20} \text{ J}$ electron phải được tăng tốc trong điện trường có hiệu điện thế U được xác định bởi công thức $W = eU$. Cường độ điện trường trong đó có thể xảy ra sự ion hoá do va chạm bằng:

$$E = \frac{U}{\lambda} = \frac{W}{e\lambda} \approx 310^4 \text{ V/m}$$

6.6. Áp dụng định luật Faraday, ta có: $q = \frac{m n F}{A} \approx 3619 \text{ C}$

Áp dụng định luật Ôm, ta có: $I = \frac{\varepsilon - \varepsilon'}{r + r'} = 1 \text{ A}$

Thời gian điện phân $t = \frac{q}{I} = 3619 \text{ s} = 1 \text{ giờ } 19 \text{ s}$.

6.7. Áp dụng định luật Faraday $I_2 = \frac{m n F}{A t} = 1,5 \text{ A}$. Các điện trở mạch ngoài mắc theo sơ đồ: $R_1 // [R_2 \text{ nt } (R_3 // R_4)]$. Gọi I là cường độ dòng điện mạch chính ta có $U_{AB} = \varepsilon - I r = R_1 (I - I_2)$

$$\rightarrow I = 4,5 \text{ A} \rightarrow R_2 + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} = \frac{U_{AB}}{I_2} \rightarrow$$

$$\rightarrow R_2 = 4 \Omega. \text{ Tính } U_{DB} = I_2 \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} \text{ suy ra}$$

$$I_4 = \frac{U_{DB}}{R_4} \text{ và } I_A = I - I_4 = 3,75 \text{ A}$$

Công suất mạch ngoài $P = U_{AB} \cdot I = 40,5 \text{ W}$.

§7. TỪ TRƯỜNG

I. KIẾN THỨC CẦN NHỚ

1. *Từ trường* là dạng vật chất tồn tại xung quanh hạt mang điện chuyển động và tác dụng lực từ lên hạt mang điện khác chuyển động trong đó. *Hướng của từ trường* tại một điểm là hướng Nam - Bắc của kim nam châm nhỏ nằm cân bằng tại điểm đó.

2. *Đường cảm ứng từ* là những đường cong vẽ trong không gian có từ trường sao cho tiếp tuyến tại một điểm trùng với hướng của từ trường tại điểm đó.

a) Đối với dòng điện chạy trong dây dẫn thẳng dài: Các đường cảm ứng từ là những đường tròn có mặt phẳng vuông góc với dây dẫn, có tâm trên dây dẫn, có chiều được xác định theo quy tắc đinh ốc (đinh ốc thuận): Đặt cái đinh ốc dọc theo dây dẫn và quay cho nó tiến theo chiều dòng điện, khi đó chiều quay của cái đinh ốc là chiều của đường cảm ứng từ.

b) Đối với dòng điện chạy trong dây dẫn hình tròn: Đường cảm ứng từ đi vào mặt Nam và đi ra mặt Bắc (mặt Nam của vòng dây là mặt khi nhìn vào đó thấy dòng điện chạy theo chiều kim đồng hồ).

c) Đối với dòng điện chạy trong ống dây dài: Đường cảm ứng từ đi vào cực Nam (S) và đi ra cực Bắc (N). Trong lòng ống dây các đường cảm ứng từ gần như song song với nhau (từ trường là đều).

d) *Tính chất đường cảm ứng từ*: Qua mỗi điểm trong không gian chỉ vẽ được một đường cảm ứng từ; các đường cảm ứng từ là những đường cong khép kín hoặc là một đường vô hạn ở hai đầu; chiều của đường cảm ứng từ tuân theo quy tắc xác định (quy tắc đinh ốc; quy tắc vào cực Nam, ra cực Bắc); Quy ước vẽ số đường cảm ứng từ sao cho chỗ nào từ trường mạnh các đường cảm ứng từ có mật độ dày; chỗ nào từ trường yếu các đường cảm ứng từ có mật độ thưa.

3. Từ trường được đặc trưng bởi *véc tơ cảm ứng từ* $\vec{B}$: Đó là một véc tơ tại một điểm có phương tiếp xúc với đường cảm ứng từ, có chiều là chiều đường cảm ứng từ đi qua điểm đó (hướng của $\vec{B}$ tại một điểm chính là hướng của từ trường tại điểm ấy).

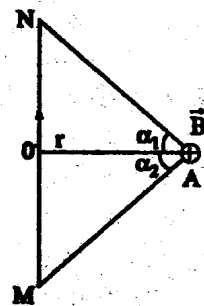
Đơn vị cảm ứng từ B là tesla (T).

a) Cảm ứng từ B do dòng điện I sinh ra : $B = kI$, k phụ thuộc vào hình dạng, kích thước dây dẫn và vào môi trường xung quanh dây dẫn. Trong môi trường $B = \mu B_0$, với B_0 là cảm ứng từ trong chân không, μ là độ từ thẩm của môi trường (với không khí $\mu \approx 1$).

b) Cảm ứng từ là do đoạn dòng điện thẳng MN gây ra tại A :

$$B = 10^{-7} \frac{I}{r} (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2)$$

Trường hợp dây rất dài (dài vô hạn) : $B = 10^{-7} \frac{2I}{r}$



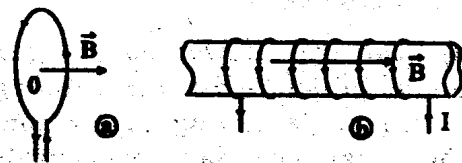
Hình 7.1

c) Cảm ứng từ do dòng điện chạy trong dây dẫn hình tròn bán kính R tại tâm O. (hình 7.2a)

$$B = 10^{-7} 2\pi \frac{I}{R}$$

Với *khung dây* có N vòng dây :

$$B = 10^{-7} 2\pi \frac{NI}{R}$$



Hình 7.2

d) Cảm ứng từ do dòng điện chạy trong ống dây hình trụ (xôlênoit) (hình 7.2b) : Khi chiều dài l của ống dây khá lớn so với đường kính tiết diện, từ trường bên trong lòng ống dây dài là từ trường đều, véc tơ $\vec{B}$ tại mọi điểm có phương

song song (vuông góc với mặt phẳng vòng dây) có cùng chiều và cùng độ lớn : $B = 10^{-7} 2\pi \frac{N}{l} I$ (N là tổng số vòng dây), hay $B = 10^{-7} 4\pi n I$ ($n = \frac{N}{l}$ là số vòng dây quấn trên một đơn vị *chiều dài*).

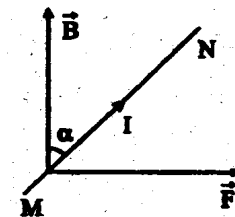
e) Véc tơ cảm ứng từ do nhiều dòng điện gây ra :

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 \dots \text{ (nguyên lý chồng chất từ trường).}$$

4. Lực từ $\vec{F}$ do một từ trường đều,

có cảm ứng từ $\vec{B}$, tác dụng lên một đoạn dây dẫn MN = l trong có dòng điện cường độ I : có điểm đặt là trung điểm của MN; có phương vuông góc với

MN và với $\vec{B}$; có chiều được xác định theo quy tắc bàn tay trái (đặt bàn tay trái duỗi thẳng để cho các đường cảm ứng từ hướng vào lòng bàn tay, chiều từ cổ tay đến ngón tay giữa là chiều dòng điện thì chiều ngón tay cái choãi ra 90° là chiều của lực từ tác dụng lên đoạn dây dẫn); có cường độ cho bởi công thức Ampe : $F = BIl \sin \alpha$



Hình 7.3

(α là góc giữa MN và $\vec{B}$) (hình 7.3).

5. Lực tương tác giữa hai dòng điện thẳng dài song song:

Khi hai dòng điện I_1, I_2 cùng chiều thì lực từ $\vec{F}$ là lực hút và khi I_1, I_2 ngược chiều nhau thì $\vec{F}$ là lực đẩy. Độ lớn của lực từ: $F = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I_1 I_2}{d} l$, với d là khoảng cách hai dây; l là chiều dài của đoạn dây chịu tác dụng lực F.

6. Mômen của ngẫu lực từ tác dụng lên một khung dây dẫn cứng có dòng điện I chạy qua đặt trong từ trường đều: $M = BIS = p_m B$ (S là tiết diện khung dây, p_m được gọi là mômen từ). Nếu khung có N vòng dây: $M = NBIS$.

7. Lực Lorenxơ là lực do từ trường $\vec{B}$ tác dụng lên hạt mang điện q chuyển động với vận tốc $\vec{v}$: có phương vuông góc với $\vec{v}$ và $\vec{B}$; có chiều xác định bởi quy tắc bàn tay trái nếu $q > 0$ (với $q < 0$ thì lực hướng ngược lại); có cường độ $F = qvB \sin \alpha$ (với α là góc giữa $\vec{v}$ và $\vec{B}$).

Khi vận tốc $\vec{v}$ vuông góc với $\vec{B}$ thì do tác dụng của lực Lorenxơ một hạt mang điện có khối lượng rất nhỏ (bỏ qua tác dụng của trọng lực) sẽ chuyển động đều theo quỹ đạo tròn nằm trong mặt phẳng vuông góc với $\vec{B}$ và có bán kính $R = \frac{mv}{qB}$. Chu kỳ chuyển động của hạt

trên quỹ đạo $T = \frac{2\pi m}{qB}$.

8. Sắt từ: Đưa một thanh sắt hoặc thép (vật liệu sắt từ) vào trong một từ trường thì thanh sắt (hoặc thép) bị từ hoá, trở thành nam châm, nó có từ tính. Khi ngắt từ trường từ hoá, từ tính của sắt sẽ biến mất, trong khi từ tính của thép vẫn còn. Thép được dùng để làm nam châm.

II. BÀI TẬP THÍ DỤ

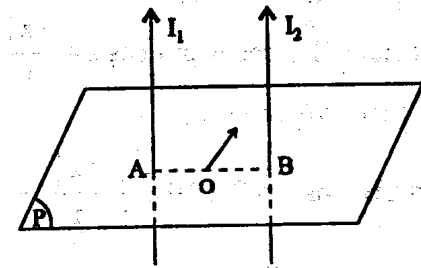
1. Thí dụ 1. Cho hai dây dẫn thẳng dài, đặt song song, cách nhau một khoảng $2a = 20\text{cm}$ trong không khí, có các dòng điện cùng chiều $I_1 = I_2 = I = 10\text{A}$ chạy qua. Một mặt phẳng P vuông góc với hai dây dẫn đó, cắt chúng tại A và B . Trục tọa độ Ox (O là trung điểm của AB) nằm trong P và vuông góc với AB (hình 7.4).

1. Xác định vectơ cảm ứng từ tổng hợp tại O .

2. Xác định vectơ cảm ứng từ tại điểm M trên Ox có tọa độ $OM = x$. Tìm vị trí của điểm M để cảm ứng từ có giá trị lớn nhất và tính giá trị lớn nhất đó.

3. Đặt một dây dẫn thứ ba có dòng I_3 đi qua, song

song với hai dây trên và đi qua O . Xác định chiều và cường độ của I_3 để cảm ứng từ tổng hợp tại một điểm M_1 trên Ox (có tọa độ $OM_1 = a$) bằng không.



Hình 7.4

A. Lời giải. Vectơ cảm ứng từ tổng hợp $\vec{B}$ do các dòng điện I_1, I_2 gây ra tại một điểm bằng $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$, trong đó $\vec{B}_1, \vec{B}_2$ là vectơ cảm ứng từ do từng dòng điện gây ra tại điểm đó. Chọn mặt phẳng hình vẽ là mặt phẳng P , khi đó $\vec{B}_1$ và $\vec{B}_2$ nằm trong P .

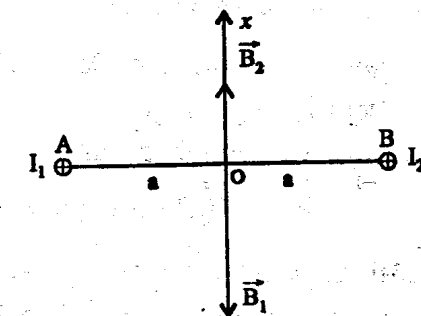
1) Tại điểm O , các vectơ $\vec{B}_1$ và $\vec{B}_2 \perp AB$, nhưng $\vec{B}_1$ và $\vec{B}_2$ ngược chiều (theo quy tắc đinh ốc) (hình 7.4a). Ta có:

$$B_1 = B_2 = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I}{a}.$$

$$\text{Vậy } B_0 = 0$$

2) Tại điểm M , $\vec{B}_1 \perp MA$, $\vec{B}_2 \perp MB$. Ta có

$$B_1 = B_2 = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I}{r} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I}{\sqrt{a^2 + x^2}}. \text{ Do đó } \vec{B} \text{ có phương}$$



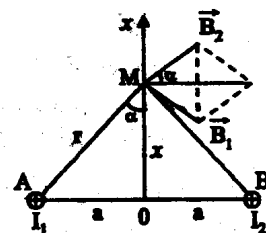
Hình 7.4

song song với AB, có chiều như trên hình 7.4b, hợp với $\vec{B}_1$ (hoặc $\vec{B}_2$) góc α mà $\cos \alpha = \frac{|x|}{r}$

Từ hình vẽ ta có :

$$B = 2B_1 \cos \alpha = 2 \cdot 2 \cdot 10^{-7} \frac{I}{r} \cdot \frac{|x|}{r} \rightarrow$$

$$B = 4 \cdot 10^{-7} \frac{I|x|}{a^2 + x^2} = 4 \cdot 10^{-7} \frac{I}{\frac{a^2}{|x|} + |x|}$$



Hình 7.4b

Muốn cho B có giá trị cực đại thì mẫu số $\frac{a^2}{|x|} + |x|$ phải có giá trị

cực tiểu. Vì tích số $\left(\frac{a^2}{|x|}\right) \cdot |x| = a^2$ là một số không đổi, nên mẫu

số đó có giá trị cực tiểu khi $\frac{a^2}{|x|} = |x| \rightarrow |x| = a$ hay $x = \pm a$. Có

hai vị trí của M trên Ox để cho B có giá trị cực đại. $B_{\max} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I}{a}$.

Thay số: $I = 10A$; $a = 10cm = 10^{-1}m$, ta được $B_{\max} = 2 \cdot 10^{-5} T$.

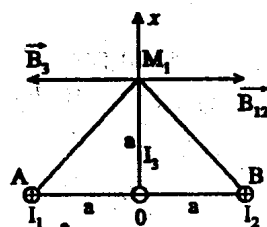
3) Khi có thêm dòng I_3 , véc tơ cảm ứng từ tổng hợp tại M_1 là

$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3$. Lập luận như

ở câu 2, véc tơ $\vec{B}_{12} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$ có phương song song với AB, có chiều theo hướng từ A đến B và có độ lớn (vì $x = a$).

$B_{12} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I}{a}$. Muốn cho cảm ứng từ tại M_1 bằng không

($\vec{B} = 0$) ta phải có $\vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 = 0$ hay $\vec{B}_3 = -\vec{B}_{12}$. Như vậy có



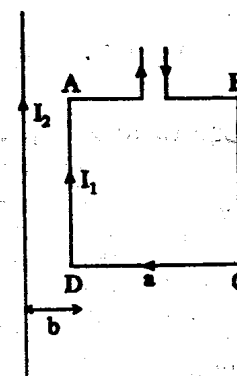
Hình 7.4c

nghĩa dòng I_3 phải gây ra cảm ứng từ B_3 cùng phương và ngược chiều với B_{12} ; áp dụng quy tắc vận đĩnh ốc ta thấy I_3 phải chiều ngược với I_1, I_2 , hơn nữa cường độ của nó phải thỏa mãn hệ thức $B_3 = B_{12}$ hay

$$2 \cdot 10^{-7} \frac{I_3}{a} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I}{a} \rightarrow I_3 = I = 10A.$$

B. Chú ý : Đây là bài toán xác định cảm ứng từ do dòng điện (hoặc các dòng điện gây ra). Ta phải xác định phương, chiều và độ lớn của B, khi biết chiều cường độ cũng như vị trí các dòng điện và vị trí của điểm khảo sát. Ngược lại ta cũng có thể tìm được chiều, cường độ dòng điện (và cả vị trí của nó) khi biết cảm ứng từ. Để giải bài toán chỉ cần áp dụng các công thức đã biết và quy tắc xác định chiều của cảm ứng từ, cũng như nguyên lý chồng chất điện trường. Cần chú ý xác định đúng phương và chiều của cảm ứng từ do từng dòng điện gây ra để có lời giải đúng khi tổng hợp các véc tơ cảm ứng từ. Thường xét bài toán trong mặt phẳng vuông góc với dây dẫn (để cảm ứng từ nằm trong mặt phẳng đó) là thuận lợi nhất. Cần chú ý đến đơn vị đo khi tính toán bằng số. Bài toán xác định cảm ứng từ là một trong các bài toán cơ bản, quan trọng.

2. Thí dụ 2. Cho một khung dây hình vuông ABCD, cạnh $a = 4cm$ có dòng điện $I_1 = 20A$ và một dây dẫn thẳng dài, song song với AD, nằm trong mặt phẳng của khung dây, cách AD một đoạn $b = 2cm$, có dòng điện $I_2 = 15A$. Xác định lực từ tổng hợp do dòng I_2 tác dụng lên khung dây (hình 7.5).



Hình 7.5

A. Lời giải. Véc tơ cảm ứng từ do dòng điện I_2 gây nên tại các điểm nằm trên các cạnh của khung dây có phương vuông góc với mặt phẳng hình vẽ và có chiều

hướng vào mặt phẳng đó (hình 7.6).
Lực từ tác dụng lên các cạnh khung

dây $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$ và $\vec{F}_4$ có chiều xác định theo quy tắc bàn tay trái; các lực này nằm trong mặt phẳng khung dây (như trên hình 7.6) nên không gây ra mômen làm quay khung. Do tính đối xứng nên cảm ứng từ do I_2 gây ra tại M và P bằng nhau,

kết quả là các lực từ $\vec{F}_1$ và $\vec{F}_3$ tác dụng lên các cạnh AB và CD là hai

lực trực đối ($\vec{F}_1 = -\vec{F}_3$) (chỉ có tác dụng kéo giãn khung).

Các lực từ F_2, F_4 do dòng I_2 tác dụng lên các cạnh BC và DA ngược chiều nhau (đặt tại các trung điểm N và Q của BC và DA) và có độ lớn tương ứng bằng :

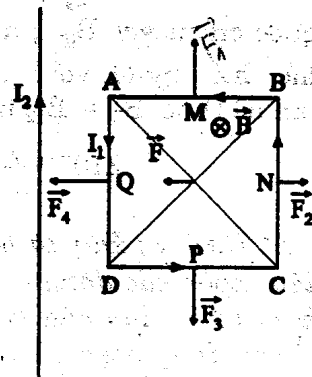
$$F_2 = I_1 B_N \cdot BC = I_1 \cdot 2 \cdot 10^{-7} \frac{I_2}{a+b} \cdot a = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I_1 I_2 a}{a+b}$$

$$\text{và } F_4 = I_1 \cdot B_Q \cdot DA = I_1 \cdot 2 \cdot 10^{-7} \frac{I_2}{b} \cdot a = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I_1 I_2 a}{b} > F_2.$$

Lực từ tổng hợp tác dụng lên khung dây $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4$ cùng chiều với $\vec{F}_4$ và có độ lớn $F = F_4 - F_2 = 2 \cdot 10^{-7} I_1 I_2 a \left(\frac{1}{b} - \frac{1}{a+b} \right)$. Như vậy nếu không có ngoại lực giữ khung dây thì khung dây sẽ bị hút về phía dòng I_2 .

Thay số : $a = 4\text{cm} = 4 \cdot 10^{-2}\text{m}$; $b = 2\text{cm} = 2 \cdot 10^{-2}\text{m}$;
 $I_1 = 20\text{A}$; $I_2 = 15\text{A}$ ta được $F = 8 \cdot 10^{-5}\text{N}$.

Ghi chú : Cũng có thể áp dụng ngay công thức tính lực từ tương tác giữa hai dòng điện đối với hai cạnh BC và AD.



Hình 7.6

B. Chú ý : Đây là loại bài toán xác định lực từ tác dụng lên dây dẫn đặt trong từ trường. Chỉ cần vận dụng công thức tính lực Ampe và áp dụng quy tắc bàn tay trái. Trong trường hợp khung dây dẫn, đôi khi còn cần phải tính cả mômen lực tác dụng lên khung dây.

3. Thí dụ 3. Một electron có vận tốc $\vec{v}$ đi vào trong một từ trường đều có cảm ứng từ $\vec{B}$ lập với vận tốc $\vec{v}$ của electron một góc α .

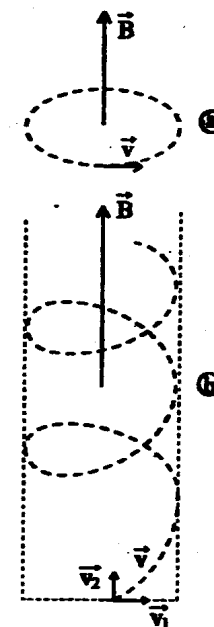
1. Electron chuyển động theo quỹ đạo có hình dạng thế nào ? Xác định các kích thước của quỹ đạo đó.

2. Tìm công của lực từ tác dụng lên electron. Bỏ qua tác dụng của trọng lực.

A. Lời giải. 1) Electron chịu tác dụng của lực Lorentz. Nếu vận tốc ban đầu $\vec{v}$ của electron vuông góc với cảm ứng từ $\vec{B}$ (hình 7.7a) thì electron sẽ chuyển động theo quỹ đạo hình tròn. Nếu vận tốc $\vec{v}$ lập với $\vec{B}$ một góc $\alpha \approx \frac{\pi}{2}$, ta có thể phân tích $\vec{B}$ thành hai

thành phần: $\vec{v}_1$ vuông góc với $\vec{B}$ và $\vec{v}_2$ song song với $\vec{B}$ ($v_1 = v \sin \alpha$, $v_2 = v \cos \alpha$). Thành phần $\vec{v}_1$ chịu tác dụng của lực Lorentz làm cho nó đổi phương (nhưng không thay đổi về độ lớn (vì lực Lorentz vuông góc với $\vec{v}_1$)).

Do đó, theo phương vuông góc với $\vec{B}$,



Hình 7.7

quỹ đạo của electron là một đường tròn. Chiều chuyển động của electron trên quỹ đạo được xác định theo quy tắc bàn tay trái, sau đó lấy theo chiều ngược lại vì electron mang điện tích âm. Còn thành phần $\vec{v}_2$ (song song với $\vec{B}$) không chịu tác dụng của lực Lorenxơ (vì lực Lorenxơ ứng với $\vec{v}_2$ bằng không), do đó $\vec{v}_2$ không thay đổi cả về phương lẫn độ lớn.

Kết quả là : Do tham gia đồng thời vào cả hai chuyển động đó (chuyển động tròn đều với vận tốc $\vec{v}_1$ và chuyển động thẳng đều với vận tốc $\vec{v}_2$ vuông góc với mặt phẳng quỹ đạo tròn), nên electron chuyển động theo một quỹ đạo xoắn ốc (hình 7.7b).

Trong chuyển động tròn đều, lực Lorenxơ đóng vai trò lực hướng tâm :

$$\frac{mv_1^2}{R} = ev_1 B \quad (R \text{ là bán kính quỹ đạo}).$$

$$\text{Suy ra : } R = \frac{mv_1}{eB} = \frac{mv \sin \alpha}{eB}$$

(m, e là khối lượng và điện tích của electron).

Thời gian cần thiết để electron đi được một vòng (chu kỳ quay) bằng :

$$t = \frac{2\pi R}{v_1} = \frac{2\pi R}{v \sin \alpha}$$

Trong thời gian t đó electron dịch chuyển được một đoạn h theo phương song song với $\vec{B}$:

$$h = v_2 t = \frac{2\pi R v_2}{v \sin \alpha} = \frac{2\pi m v \cos \alpha}{eB}$$

(h còn được gọi là bước của đường xoắn ốc).

2) Khi electron chuyển động, lực Lorenxơ luôn luôn vuông góc với vận tốc, do đó lực Lorenxơ không thực hiện công. Lực từ chỉ có tác dụng làm đổi hướng của vận tốc mà không làm thay đổi độ lớn của vận tốc.

B. Chú ý : Đây là bài toán về lực Lorenxơ tác dụng lên hạt mang điện chuyển động. Chỉ cần xác định được phương chiều và độ lớn của lực ($F = qvB \sin \alpha$), để thấy được tác dụng của nó lên chuyển động của hạt. Thường bỏ qua tác dụng của trọng lực. Nếu trong không gian chứa hạt còn có điện trường thì phải xét thêm tác dụng của lực điện; dĩ nhiên khi đó bài toán sẽ phức tạp hơn, nhưng chỉ cần xét kỹ hợp lực là có thể giải được bài toán. Cần chú ý rằng lực Lorenxơ không sinh công.

III. BÀI TẬP LUYỆN TẬP

7.1. Hai dây dẫn thẳng dài vô hạn đặt song song trong không khí cách nhau một khoảng $d = 12\text{cm}$ có các dòng điện ngược chiều nhau $I_1 = 2\text{A}$, $I_2 = 4\text{A}$ đi qua. Xác định vị trí các điểm có cảm ứng từ tổng hợp bằng 0.

7.2. Ba dây dẫn thẳng song song, dài vô hạn cùng nằm trong 1 mặt phẳng, hai dây dẫn liên tiếp cách nhau $a = 12\text{cm}$, cường độ dòng điện $I_1 = I_2 = I$, $I_3 = 2I$. Dây dẫn có dòng I_3 nằm ngoài hai dây dẫn kia và dòng I_3 ngược chiều I_1, I_2 . Tìm vị trí điểm M tại đó cảm ứng từ tổng hợp bằng không.

7.3. Bốn dây dẫn thẳng dài đặt song song với nhau, tiết diện ngang của chúng tạo thành một hình vuông cạnh $a = 10\text{cm}$; trong các dây dẫn có các dòng điện cường độ bằng nhau $I = 10\text{A}$ chạy qua, trong số đó hai dòng điện ở hai dây cạnh nhau có cùng một chiều, còn ở hai dây kia thì chiều dòng điện là ngược lại. Xác định cảm ứng từ tổng hợp tại tâm O của hình vuông.

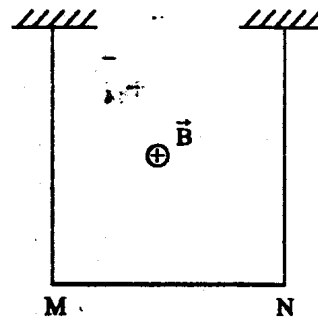
7.4. Một vòng dây hình tròn, bán kính $R = 10\text{cm}$ có dòng điện $I = 10\text{A}$ chạy qua, được đặt song song với đường cảm ứng từ của một từ trường đều có cảm ứng từ $B_0 = 8 \cdot 10^{-5}\text{T}$. Xác định cảm ứng từ tổng hợp tại tâm O của vòng dây đó.

7.5. Hai vòng dây dẫn tròn bán kính $R = 5\text{cm}$, có tâm O trùng nhau, đặt vuông góc với nhau, mang các dòng điện $I_1 = I_2 = \frac{\sqrt{2}}{2}A$. Xác định cảm ứng từ tổng hợp tại O.

7.6. Qua ba đỉnh của một tam giác đều ABC cạnh $a = 10\text{cm}$ nằm trong mặt phẳng nằm ngang người ta đặt ba dây dẫn thẳng dài vuông góc với ABC có các dòng $I_1 = I_2 = I_3 = I = 10\text{A}$ cùng chiều chạy qua. Hỏi phải đặt một dòng điện thẳng dài có chiều và cường độ như thế nào và đặt tại đâu để cho bốn dòng điện đó nằm cân bằng.

7.7. Một vòng dây dẫn tròn bán kính $R = 5\text{cm}$ có dòng điện $I = 1,6\text{A}$ đi qua, đặt thẳng đứng song song với từ trường $\vec{B}_0$ của Trái đất có độ lớn $B_0 = 2 \cdot 10^{-5}\text{T}$. Tìm góc quay của kim nam châm nhỏ đặt tại tâm vòng dây khi ngắt dòng điện I.

7.8. Một đoạn dây dẫn thẳng MN, chiều dài l, khối lượng của một đơn vị dài của dây là $D = 0,05\text{kg/m}$, được treo bằng hai dây dẫn nhẹ thẳng đứng và đặt trong một từ trường đều có cảm ứng từ $\vec{H}$ vuông góc với mặt phẳng chứa MN và dây treo, $B = 0,05\text{T}$ (Xem hình 7.12).



Hình 7.12

1) Xác định chiều và độ lớn của dòng điện I chạy qua dây để lực căng của các dây treo bằng không.

2) Cho $MN = 20\text{cm}$, $I = 6\text{A}$ và có chiều từ N đến M. Tính lực căng của mỗi dây treo. Lấy $g = 10\text{m/s}^2$.

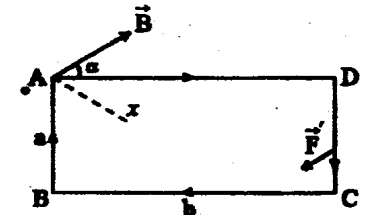
7.9. Một đoạn dây dẫn AB có chiều dài $l = 20\text{cm}$, khối lượng $m = 10\text{g}$ được treo nằm ngang trong một từ trường đều có véc tơ cảm ứng từ hướng thẳng đứng lên trên. Hai dây treo thẳng đứng mảnh, nhẹ, chiều dài mỗi dây $l = 40\text{cm}$. Cho dòng điện $I = 2\text{A}$ chạy qua dây AB người ta thấy dây AB bị đẩy lệch sang một bên và có vị trí cân bằng khi dây treo bị lệch một góc $\alpha = 30^\circ$. Tính độ lớn của cảm ứng từ B và vận tốc của dây AB ở vị trí cân bằng khi không có dòng điện qua AB. Bỏ qua mọi ma sát và lực cản của môi trường. Lấy $g = 10\text{m/s}^2$.

7.10. Một thanh kim loại CD, chiều dài $CD = l = 20\text{cm}$, khối lượng $m = 100\text{g}$, đặt vuông góc với hai thanh ray song song nằm ngang và nối với nguồn điện có hiệu điện thế U (Hình 7.14). Hệ thống đặt trong từ trường đều có cảm ứng từ $\vec{B}$ hướng thẳng đứng xuống dưới, và có độ lớn $B = 0,2\text{T}$. Hệ số ma sát giữa thanh CD và các thanh ray bằng $k = 0,1$. Bỏ qua điện trở các thanh ray, điện trở tại các chỗ tiếp xúc và dòng điện cảm ứng trong mạch.

a) Giả sử thanh CD trượt sang trái (về phía AB) với gia tốc $a = 3\text{m/s}^2$. Xác định chiều và cường độ của dòng điện I chạy qua CD.

b) Người ta nâng hai đầu A, B của các thanh ray để các thanh ray hợp với mặt phẳng nằm ngang một góc $\alpha = 30^\circ$. Tìm hướng và gia tốc chuyển động của thanh biết rằng AB bắt đầu chuyển động với vận tốc ban đầu bằng không.

7.11. Một khung dây dẫn hình chữ nhật có $n = 20$ vòng dây, kích thước $a = 15\text{cm}$, $b = 10\text{cm}$, có cạnh $AB = b = 10\text{cm}$ được giữ chặt. Khung được đặt trong một từ trường đều có cảm ứng từ $B = 0,5\text{T}$, véc tơ $\vec{B}$ lập với mặt phẳng của khung một góc $\alpha = 30^\circ$.



Hình 7.16

(Hình 7.16). Cho dòng điện $I = 0,5A$ chạy qua khung. Xác định độ lớn và tác dụng của mômen lực do từ trường tác dụng lên khung dây.

7.12. Khung dây phẳng của một điện kế từ điện, có diện tích $S = 40 \times 30 \text{ mm}^2$, có quấn $N = 100$ vòng dây đồng đường kính $d = 0,1 \text{ mm}$, được treo nhờ một sợi dây h mà khi dây bị xoắn một góc $\alpha_0 = 1^\circ$ thì có xuất hiện một mômen xoắn $M_{ox} = 10^{-7} \text{ N.m}$. Khung được đặt trong một từ trường của một nam châm vĩnh cửu, được bố trí sao cho cảm ứng từ $\vec{B}$ luôn luôn vuông góc với trục quay của khung và với pháp tuyến của khung và có độ lớn $B = 0,1 \text{ T}$. Cho dòng điện $I = 0,1 \text{ mA}$ chạy qua khung. Hãy tính góc quay α của khung và công suất tiêu thụ của điện kế. Biết điện trở suất của đồng $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega.m$.

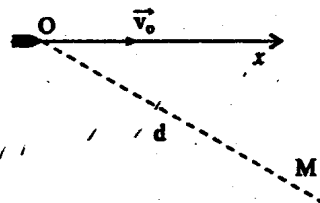
7.13. Một electron trong ống hiện hình của máy thu hình có năng lượng $W = 12 \text{ keV}$. Ống được đặt sao cho electron chuyển động nằm ngang theo hướng Nam - Bắc địa lý. Cho biết thành phần thẳng đứng của từ trường Trái đất có cảm ứng từ $B = 5,5 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ và hướng xuống dưới.

a) Dưới tác dụng của từ trường Trái đất electron bị lệch về phía nào? Tính gia tốc a của electron dưới tác dụng của lực từ.

b) Sau khi bay được một đoạn $l = 20 \text{ cm}$ trong ống, tia electron bị lệch đi một khoảng s bằng bao nhiêu? Bỏ qua tác dụng của trọng lực.

7.14. Sau khi được tăng tốc bởi hiệu điện thế U trong ống phát electron, electron được phóng ra theo hướng Ox để sau đó phải đi tới được điểm M cách O một khoảng d (Hình 7.17). Hãy xác định dạng quỹ đạo của electron và véc tơ cảm ứng từ

$\vec{B}$ trong hai trường hợp:



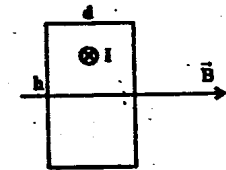
Hình 7.17

a) $\vec{B}$ có phương vuông góc với mặt phẳng hình vẽ.

b) $\vec{B}$ có phương song song với OM (góc $\angle xOM = \alpha$).

7.15. Một electron sau khi được gia tốc nhờ hiệu điện thế $U = 300 \text{ V}$, chuyển động song song với một dây dẫn thẳng dài và cách dây dẫn một khoảng $a = 0,8 \text{ cm}$. Tìm lực F tác dụng lên electron nếu dòng điện chạy trong dây dẫn có cường độ $I = 10 \text{ A}$.

7.16. Trên hình 7.18 là tiết diện của một dây dẫn bằng đồng có các cạnh là h và d ; dòng điện I chạy từ phía trước ra phía sau. Từ trường có cảm ứng từ $\vec{B}$ vuông góc với dây dẫn và hướng sang phải.



Hình 7.18

a) Tính vận tốc chuyển động v có hướng của electron trong dây dẫn, độ lớn và hướng của lực từ $\vec{F}$ tác dụng lên electron.

b) Cần phải đặt điện trường $\vec{E}$ có độ lớn và hướng như thế nào để cân bằng tác dụng của từ trường. Xác định hiệu điện thế U cần đặt vào cạnh của dây dẫn để tạo ra điện trường $\vec{E}$ đó và đặt vào cạnh nào?

c) Nếu không đặt vào điện trường đó thì dưới tác dụng của lực từ, electron bị lệch về một phía, làm xuất hiện trong dây dẫn một điện trường $\vec{E}_1$. Tính E_1 khi lực từ cân bằng với lực điện do điện trường đó tác dụng lên electron. Cho biết mật độ electron dẫn trong dây dẫn $n = 1,1 \cdot 10^{29} \text{ m}^{-3}$; $h = 2 \text{ cm}$; $a = 0,1 \text{ cm}$; $I = 50 \text{ A}$; $B = 2 \text{ T}$.

7.17. Một thanh đồng, có tiết diện là hình chữ nhật với cạnh $a = 0,5\text{mm}$, $b = 1\text{cm}$, có dòng điện $I = 20\text{A}$ chạy qua, được đặt trong từ trường đều có cảm ứng từ $\vec{B}$ vuông góc với cạnh B và với chiều dòng điện, $B = 1\text{T}$. Khi đó giữa hai mặt trên và dưới của thanh đồng xuất hiện một hiệu điện thế $U = 3,1 \cdot 10^{-6}\text{V}$. Hãy giải thích hiện tượng (Hiệu ứng Hôn). Tính vận tốc của chuyển động có hướng của electron và mật độ electron dẫn trong dây đồng.

7.18. Một tụ điện phẳng, có hai bản điện tích S , cách nhau một khoảng d được đặt trong một dòng các hạt mang điện chuyển động với vận tốc v không đổi theo phương song song với các bản. Toàn bộ hệ thống được đặt trong một từ trường có cảm ứng từ $\vec{B}$ song song với hai bản và vuông góc với v . Điện trở suất của môi trường dẫn điện là ρ và hai bản tụ điện được nối với một điện trở R .

a) Giải thích tại sao tụ điện lại có tác dụng như một nguồn điện cung cấp một dòng điện không đổi cho R .

b) Tính công suất tiêu thụ của R ? Với giá trị nào của R thì công suất đó là cực đại. Tính giá trị cực đại đó.

HƯỚNG DẪN GIẢI VÀ ĐÁP SỐ CÁC BÀI TẬP VỀ TỪ TRƯỜNG

7.1. Gọi M là điểm tại đó cảm ứng từ tổng hợp bằng không:

$$\vec{B}_M = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 = 0 \quad (1)$$

trong đó $\vec{B}_1, \vec{B}_2$ là véc tơ cảm ứng từ do I_1, I_2 gây ra tại M , có độ lớn:

$$B_1 = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I_1}{AM}; \quad B_2 = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I_2}{BM} \quad (2)$$

Từ (1) suy ra $\vec{B}_1 = -\vec{B}_2$: hai

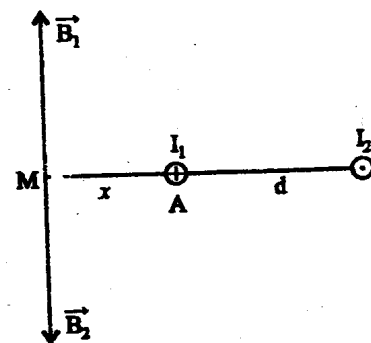
véc tơ $\vec{B}_1, \vec{B}_2$ ngược chiều nhau và $B_1 = B_2$. Muốn vậy M phải nằm ngoài AB và ở gần A . Xét bài toán trong mặt phẳng vuông góc với hai dây dẫn. Đặt $AM = x$, từ $B_1 = B_2$, và biết $I_2 = 2I_1 = 4A$, suy ra:

$$\frac{I_1}{x} = \frac{I_2}{d+x} \rightarrow 2x = d+x \rightarrow$$

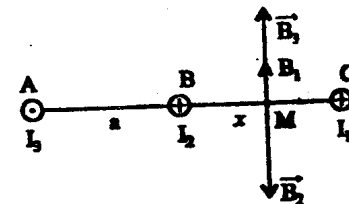
$x = d = 12\text{cm}$. Các điểm M tại đó

$\vec{B} = 0$ nằm trên đường thẳng song song với hai dây dẫn cách dây có dòng I_1 một khoảng $AM = 12\text{cm}$.

7.2. Lập luận tương tự như trên. Vì I_1 và I_2 cùng chiều, còn I_3 ngược chiều với I_1, I_2 , cho nên, muốn cho cảm ứng từ tổng hợp tại điểm M bằng không $\vec{B}_M = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 = 0$, thì điểm M phải nằm trong khoảng giữa



Hình 7.8



Hình 7.9

hai dây dẫn 1 và 2. Xét bài toán trong mặt phẳng vuông góc với ba dây dẫn và giả sử dây có dòng I_2 nằm giữa hai dây kia (có thể đổi chỗ I_1 và I_2 cho nhau) (hình 7.9). Áp dụng quy tắc đinh ốc ta thấy ba véc tơ $\vec{B}_1$, $\vec{B}_2$, $\vec{B}_3$ vuông góc với BC, $\vec{B}_1$ và $\vec{B}_3$ cùng chiều, còn $\vec{B}_2$ ngược chiều với $\vec{B}_1$. Do đó muốn cho $\vec{B}_M = 0$ ta phải có

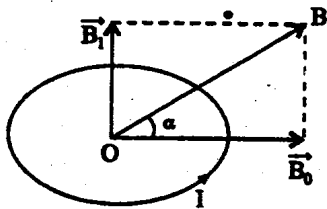
$$B_1 + B_3 = B_2 \rightarrow \frac{I_1}{a-x} + \frac{I_3}{a+x} = \frac{I_2}{x} \rightarrow \frac{1}{a-x} + \frac{2}{a+x} = \frac{1}{x}$$

$$\rightarrow x(3a-x) = a^2 - x^2 \rightarrow x = \frac{a}{3} = 4\text{cm}$$

Các điểm M tại đó $\vec{B} = 0$ nằm trên đường thẳng song song với ba dây dẫn ở khoảng giữa hai dây 1 và 2, cách dây giữa 4 cm.

7.3. Xét bài toán trong mặt phẳng vuông góc với bốn dây dẫn, khi đó các véc tơ $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \vec{B}_3, \vec{B}_4$ nằm trong mặt phẳng đó và có phương là các đường chéo của hình vuông tạo bởi tiết diện 4 dây dẫn, và có độ lớn bằng nhau ($B_1 = B_2 = B_3 = B_4$). Áp dụng quy tắc đinh ốc để xác định đúng chiều của $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \vec{B}_3, \vec{B}_4$, và xác định $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \vec{B}_4$. Suy ra : Cảm ứng từ tổng hợp tại tâm O của hình vuông hướng lên trên và có độ lớn $B = 8.10^{-5} \text{ T}$.

7.4. Véc tơ cảm ứng từ $\vec{B}_1$ do vòng dây mang dòng điện I gây ra tại tâm O có phương vuông góc với mặt phẳng vòng dây, có chiều theo quy tắc đinh ốc và có độ lớn $B_1 = 2\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{I}{R} = 6,3 \cdot 10^{-5} \text{ T}$.



Hình 7.10

Cảm ứng từ tổng hợp tại O :

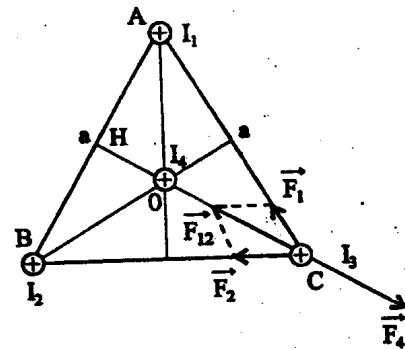
$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_0, \text{ có độ lớn (vì } \vec{B}_1 \perp \vec{B}_0 \text{)}$$

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_0^2} \approx 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ T có phương lập với } \vec{B_0} \text{ một góc } \alpha$$

$$\text{mà } \operatorname{tg} \alpha = \frac{B_1}{B_0} = 0,78 \quad (\alpha = 38^\circ 10').$$

7.5. Giải tương tự như bài 7.4. Cảm ứng từ tổng hợp $\vec{B}$ tại tâm O của hai vòng dây có độ lớn $B = 1,256 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ và có phương lập với một trong hai vòng dây góc $\alpha = 45^\circ$.

7.6. Ta thấy rằng mỗi dòng điện trong số ba dòng điện I_1, I_2, I_3 , dòng I_3 chẳng hạn chịu tác dụng của lực hút $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ của hai dòng



Hình 7.11

diện kia: $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ có phương
AC và BC, có độ lớn

$$F_1 = F_2 = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I^2}{a} \text{ l. Hợp lực}$$

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \text{ có phương là}$$

đường cao CH, có chiều hướng về tâm O của tam giác, có độ lớn:

$$F = 2F_1 \cos 30^\circ = F_1 \sqrt{3} = 2.10^{-7} \frac{I^2 l}{a} \sqrt{3}$$

Tương tự với dòng I_1, I_2 . Như vậy muốn cho dòng I_3 (và các dòng I_1, I_2) cân bằng phải đặt tại O một dòng điện I_4 sao cho dòng điện này đẩy I_3 (và I_1, I_2) một lực $\vec{F}_4$ có phương HC (cùng phương với $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$) và có độ lớn $F_4 = F$. Muốn vậy I_4 phải ngược chiều với I_3 (và với I_1, I_2) và có độ lớn I_4 sao cho $2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{I_1 I_4 l}{OC} = F = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I^2 l}{a} \sqrt{3}$ (1)

Ta biết $\overline{OC} = \frac{2}{3} \cdot \frac{a\sqrt{3}}{2} = \frac{a\sqrt{3}}{3} = \frac{a}{\sqrt{3}}$, do đó từ (1) suy ra

$I_4 = I$. Khi các dòng I_1, I_2, I_3 nằm cân bằng thì dòng I_4 qua O cũng cân bằng. Như vậy muốn cho bốn dòng điện I_1, I_2, I_3, I_4 nằm cân bằng thì dòng I_4 phải song song với I_1, I_2, I_3 , đi qua tâm O của tam giác ABC, ngược chiều với I_1, I_2, I_3 và có độ lớn $I_4 = I$.

7.7. Tìm $\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}_1$ (với $\vec{B}_1$ là véc tơ cảm ứng từ do vòng dây gây ra tại tâm vòng dây) (tương tự như ở bài 7.4).

Ta thấy góc giữa $\vec{B}$ và $\vec{B}_0$ là góc $\text{tg} \alpha = \frac{B_1}{B_0} \approx 1 \rightarrow \alpha = 45^\circ$.

Khi chưa ngắt dòng điện, kim nam châm hướng theo $\vec{B}$.

Khi ngắt dòng điện (không có $\vec{B}_1$), kim nam châm hướng theo $\vec{B}_0$. Như vậy khi ngắt dòng điện, kim nam châm quay một góc bằng $\alpha = 45^\circ$.

7.8. 1) Muốn cho lực căng của dây treo bằng không, lực từ tác dụng lên đoạn dây MN phải cân bằng với trọng lực tác dụng lên MN. Muốn vậy, áp dụng quy tắc bàn tay trái, ta thấy dòng điện chạy qua MN phải có chiều từ M đến N, và phải có $F = BIl = P = mg \rightarrow BIl = (Dl)g \rightarrow I = \frac{Dg}{B} = 10A$.

2) Vì dòng điện có chiều từ N đến M nên lực căng của hai dây bằng:

$$2T = BIl + mg = l(IB + Dg) \rightarrow T = \frac{l(IB + Dg)}{2} = 0,064N.$$

7.9. Xét bài toán trong mặt phẳng vuông góc với dây AB

(hình 7.13). Muốn cho AB nằm cân bằng, lực từ $\vec{F}$ tác dụng lên dây AB phải có chiều như ở hình vẽ, do đó dòng điện phải có chiều như chỉ ra trên hình (hướng từ ngoài vào

mặt giấy). Điều kiện cân bằng $\vec{P} + \vec{T} + \vec{F} = 0$

cho ta: $\text{tg} \alpha = \frac{F}{P} = \frac{Bil}{mg} \rightarrow B = 0,14T$. Vận tốc của AB khi qua vị trí cân bằng được xác định từ định luật bảo toàn cơ năng $\rightarrow v = 1,1 \text{ m/s}$.

7.10. a) Thanh AB chịu tác dụng của các lực: trọng lực $\vec{P}$ phản lực $\vec{N}$ của các thanh ray; lực từ $\vec{F}$ và lực ma sát $\vec{F}_{ms}$. Xét theo phương chuyển động (phương nằm ngang), ta có phương trình: $F - F_{ms} = ma$, trong đó $F = BIl$, $F_{ms} = kN = kP = kmg$. Từ đó:

$$|B|l - kmg = ma \rightarrow I = \frac{m(a + kg)}{lB} = 10A.$$

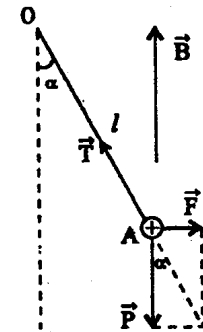
b) Chiếu phương trình của định luật II Niuton $P + N + F + F_{ms} = ma$ lên phương chuyển động (phương trên mặt phẳng nghiêng) và phương vuông góc với mặt phẳng nghiêng (lên trục Ox và Oy, hình 7.14) ta được:

$$P \sin \alpha - F \cos \alpha - F_{ms} = ma \quad (1)$$

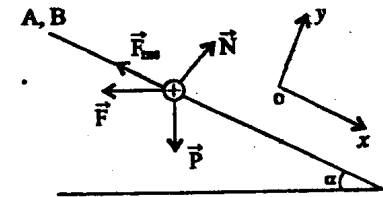
$$N - mg \cos \alpha - F \sin \alpha = 0 \quad (2)$$

Từ (2) ta có $N = mg \cos \alpha + F \sin \alpha$ và biết $F = BIl$, $F_{ms} = kN$, thay vào (1) và thay số ta tìm được $a = 0,47 \text{ m/s}^2 > 0$:

gia tốc $\vec{a}$ của chuyển động có chiều hướng xuống chân mặt phẳng nghiêng.



Hình 7.13



Hình 7.15

7.11. Lực từ tác dụng lên hai đoạn BC và AD của khung dây dẫn cùng phương, ngược chiều và bằng nhau nên không tạo nên mômen quay. Lực tác dụng lên các đoạn AB và CD bằng nhau về độ lớn, có giá trị $F = (nI) B \cdot b = 1 \text{ N}$. Đoạn AB bị giữ chặt nên chỉ có lực tác dụng lên CD tạo nên mômen quay M, bằng tích của lực $\vec{F}$ với "cánh tay đòn": $M = F \cos \alpha = 8,6 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}$. Mômen này có tác dụng làm khung quay xung quanh trục AB về phía Ax (hình 7.16).

7.12. Khung chịu tác dụng của mômen lực từ M_t và mômen xoắn M_x (mômen cản). Khi cho dòng điện chạy qua khung, mômen lực từ làm khung quay một góc α sao cho $M_t = M_x = M_{ox}$. $\alpha = NBIS$.

Suy ra $\alpha = 12^\circ$. Công suất tiêu thụ của điện kế: $W = RI^2$ với $R = \rho \frac{l}{S}$, $l = N \cdot 2(3 + 4) \cdot 10^{-2} \text{ m}$; $S = \pi d^2$, $d = 10^{-4} \text{ m}$.
Suy ra $W = 3 \cdot 10^{-7} \text{ W}$.

7.13. a) Áp dụng quy tắc xác định chiều của lực Lorenxơ cho các hạt mang điện âm. Suy ra electron lệch về hướng đông. Gọi B là cảm ứng từ của từ trường Trái đất, v là vận tốc của electron, lực Lorenxơ bằng $F = evB$. Suy ra gia tốc a của electron: $a = \frac{F}{m} = \frac{evB}{m}$, với v được tính theo công thức

$$W = \frac{mv^2}{2}. \text{ Thay số ta được } a = 6,4 \cdot 10^{14} \text{ m/s}^2.$$

b) Vì độ lệch của electron trong từ trường là nhỏ, nghĩa là vận tốc của electron có phương thay đổi không đáng kể, do đó ta có thể coi rằng, trong quá trình chuyển động lực Lorenxơ tác dụng lên electron hầu như không thay đổi hướng, và do đó gia tốc $\vec{a}$ của electron có hướng không thay đổi và chuyển động của electron dọc theo quỹ đạo parabol theo phương trình: $x = vt$ $y = \frac{at^2}{2} \rightarrow y = \frac{a}{2} \left(\frac{x}{v}\right)^2$.

Khi bay được đoạn $x = l = 20 \text{ cm}$ trong ống, tia electron bị lệch đi một khoảng $s = \frac{a}{v} \left(\frac{l}{v}\right) \approx 3 \text{ mms}$!

7.14 a) $\vec{B} \perp mp$ hình vẽ. Vận tốc của electron khi ra khỏi ống phát xạ bằng $v = \sqrt{\frac{2W}{m}} = \sqrt{\frac{2ev}{m}}$. Electron vạch quỹ

đạo tròn (vì $\vec{v} \perp \vec{B}$) bán kính r:

$$eBv = \frac{mv^2}{r} \rightarrow B = \frac{mv}{re} = \frac{m}{re} \sqrt{\frac{2ev}{m}}$$

trong đó r được tính theo công thức $d = 2r \sin \alpha$. Suy ra $B = \frac{2 \sin \alpha}{d} \sqrt{\frac{2mv}{e}}$

b) $\vec{B} \parallel QM$. Phân tích $\vec{v}$ làm 2 thành phần $\vec{v}_t$ trên OM ($v_t = v \cos \alpha$) gây ra chuyển động đều trên OM; và thành phần $\vec{v}_n$ vuông góc với OM ($v_n = v \sin \alpha$), thành phần này gây ra chuyển động tròn đều quanh trục OM với chu kỳ quay $T = \frac{2\pi m}{Be}$ Thời gian t chuyển động tròn đều tới M

$t = \frac{d}{v_t} = \frac{d}{v \cos \alpha}$, phải bằng số nguyên lần chu kỳ quay quanh trục OM: $t = kT$ ($k = 1, 2, 3, \dots$) Suy ra:

$$\frac{d}{v \cos \alpha} = k \frac{2\pi m}{Be}, \text{ từ đó } B = k \cdot \frac{2\pi \cos \alpha}{d} \sqrt{\frac{2mv}{e}}$$

7.15. Cảm ứng từ do dòng điện thẳng gây ra tại điểm đặt electron

$$B = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I}{a}; \vec{B} \perp \vec{v} \text{ vì } \vec{v} \parallel \text{ dây, và } v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$$

Lực Lorenxơ tác dụng lên electron: $F = evB = 4,1 \cdot 10^{-16} \text{ N}$

7.16. a) Mật độ dòng điện $i = nev$; mặt khác $i = \frac{I}{S} = \frac{I}{dh}$

$$\text{Suy ra } v = \frac{I}{dne} = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ m/s.}$$

Lực từ $\vec{F}$ tác dụng lên electron chính là lực Lorenxơ. Áp dụng quy tắc bàn tay trái ta thấy lực này hướng xuống dưới (chú ý rằng electron chuyển động ngược với chiều dòng điện). Vì $\vec{v} \perp \vec{B}$ nên $F = evB = 4,5 \cdot 10^{-23} \text{ N}$.

b) Muốn cân bằng lực từ, phải đặt vào dây một điện trường đều $\vec{E}$ hướng xuống dưới (để lực điện hướng lên trên), sao cho $F_d = F_t \rightarrow eE = evB \rightarrow E = vB = 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ V/m}$. Hiệu điện thế phải đặt vào cạnh của dây dẫn, sao cho cạnh trên có điện thế cao hơn cạnh dưới; vì $\vec{E}$ đều nên $U = Eh = 5,6 \cdot 10^{-6} \text{ V}$.

c) Nếu không đặt vào dây một điện trường ngoài, thì do tác dụng của lực Lorenxơ electron bị lệch xuống phía dưới, do đó dần dần cạnh dưới của tiết diện dây thừa điện tích âm và trong dây dẫn xuất hiện một điện trường $\vec{E}_1$ hướng từ trên xuống dưới. Điện trường E_1 có tác dụng chống lại lực Lorenxơ, và độ lớn của nó ngày càng tăng dần (do số electron chuyển đến cạnh dưới ngày càng tăng). Sau một thời gian (rất ngắn), đạt đến trạng thái cân bằng: tác dụng của lực Lorenxơ hoàn toàn cân bằng với tác dụng của điện trường $\vec{E}_1$, $\vec{E}_1$ có một giá trị xác định (tính theo như câu B) và giữa cạnh trên và cạnh dưới có xuất hiện một hiệu điện thế xác định $U_1 = E_1 h$. Phương chiều và độ lớn của $\vec{E}_1$ giống như điện trường $\vec{E}$ ở câu b).

Chú ý: Trong mọi trường hợp khi một dây dẫn (hoặc, nói chung, một vật dẫn, một môi trường dẫn điện) có dòng điện chạy qua được đặt trong một từ trường thì trong dây dẫn (môi trường dẫn điện) đều có xuất hiện một điện trường phụ $\vec{E}_1$ và do đó ở hai cạnh bên của dây dẫn xuất hiện một hiệu điện thế phụ U_1 . Đó là hiệu ứng Hôn (Hall).

7.17. Giải tương tự như bài 7.16. Suy ra $v = 3,1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$; $n = 8,1 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$.

7.18. Lập luận tương tự như ở bài 7.16

a) Giải thích: Như ở bài 7.16. Khi có cân bằng giữa lực Lorenxơ (lực từ) và lực điện trường: $eE = evB \rightarrow E = vB$. Hiệu điện thế giữa hai bản tụ điện $U = Ed = dvB$. Điện trở của lớp môi trường giữa hai bản tụ điện: $R_c = \rho \frac{d}{S}$.

b) Dòng điện qua R bằng $I = \frac{U}{R + R_c}$ và công suất tiêu thụ trên R là:

$$P = RI^2 = \frac{d^2 v^2 B^2 R}{\left(R + \rho \frac{d}{S}\right)^2}$$

$$P = P_{\max} \text{ khi } R = \rho \frac{d}{S}. \text{ Suy ra } P_{\max} = \frac{d v^2 b^2 S}{4 \rho} = 10^{-2} \text{ W.}$$

§8. CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

I. KIẾN THỨC CẦN NHỚ

1. Từ thông Φ qua diện tích S , giới hạn bởi một vòng dây kín phẳng C đặt trong từ trường đều có cảm ứng từ $\vec{B}$, được xác định bằng biểu thức: $\Phi = BS \cos \alpha$, α là góc giữa $\vec{B}$ và pháp tuyến (dương) $\vec{n}$ của mặt S . Đơn vị từ thông : vèbe (Wb).

Khi mạch điện chuyển động do tác dụng của lực từ, công của lực từ là :

$$A = I(\Phi_2 - \Phi_1) = I \cdot \Delta \Phi \quad (\Delta \Phi: \text{độ biến thiên từ thông qua mạch}).$$

2. Hiện tượng cảm ứng điện từ là sự xuất hiện dòng điện cảm ứng trong mạch kín khi từ thông qua mạch đó biến thiên.

a) Định luật cơ bản về cảm ứng điện từ : Mỗi khi từ thông Φ qua mạch kín C biến thiên thì trong mạch kín C xuất hiện dòng điện cảm ứng. Dòng điện cảm ứng chỉ tồn tại trong thời gian Φ biến thiên : Nếu Φ ngừng biến thiên thì dòng điện cảm ứng tắt.

b) Định luật Lenxơ về chiều dòng điện cảm ứng : Dòng điện cảm ứng có chiều sao cho từ trường (từ thông) do dòng điện ấy sinh ra có tác dụng chống lại sự biến thiên của từ thông ban đầu qua mạch kín.

Khi từ thông Φ qua C biến thiên do một chuyển dời nào đó thì dòng điện cảm ứng xuất hiện trong C có chiều sao cho từ trường do dòng điện ấy sinh ra có tác dụng chống lại sự chuyển dời nói trên.

3. Suất điện động cảm ứng là suất điện động sinh ra dòng điện cảm ứng trong mạch kín, nó tỉ lệ với độ biến thiên từ thông qua mạch và tỉ lệ nghịch với khoảng thời gian của sự biến thiên ấy.

$$\mathcal{E}_c = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (\text{dấu trừ biểu thị định luật Len xơ})$$

a) Nếu mạch kín có N vòng dây thì : $\mathcal{E}_c = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$

b) Suất điện động cảm ứng xuất hiện trong một đoạn dây dẫn chiều dài l (mạch hở) chuyển động với vận tốc $\vec{v}$ trong từ trường có cảm ứng từ B bằng: $\mathcal{E}_c = Blv \sin \alpha$, với α góc giữa $\vec{B}$ và đoạn dây dẫn ; $\vec{v} \perp \vec{B}$.

Sự xuất hiện $\mathcal{E}_c$ trong đoạn dây đó tương đương với sự tồn tại của một nguồn điện trên đoạn dây đó; nguồn điện này có suất điện động bằng $\mathcal{E}_c$ và có vị trí hai cực dương và âm được xác định bằng quy tắc bàn tay phải : Để bàn tay phải hứng các đường cảm ứng từ, ngón tay cái choãi ra theo chiều chuyển động của dây dẫn, khi đó chiều từ cổ tay đến ngón tay giữa là chiều đi qua nguồn tương đương từ cực âm sang cực dương.

Chiều của dòng điện cảm ứng chạy trên đoạn dây là phần của một mạch kín cũng được xác định nhờ quy tắc bàn tay phải ; khi đó chiều từ cổ tay đến ngón tay giữa là chiều của dòng điện cảm ứng chạy qua đoạn dây đó.

4. Dòng điện Fucô là dòng điện cảm ứng sinh ra ở trong khối vật dẫn (như khối kim loại) khi những khối này chuyển động trong một từ trường hoặc được đặt trong một từ trường biến thiên theo thời gian. Do tác dụng của dòng Fucô mọi khối kim loại chuyển động trong từ trường đều chịu tác dụng của những lực hãm điện từ. Dòng điện Fucô cũng gây ra hiệu ứng hoá nhiệt Jun trong các lõi động cơ, máy biến thế ...

5. Hiện tượng tự cảm là hiện tượng cảm ứng điện từ xảy ra trong một mạch có dòng điện mà sự biến thiên của từ thông qua mạch được gây ra bởi sự biến thiên của cường độ dòng điện trong chính mạch đó.

a) Trong mạch điện không đổi, hiện tượng tự cảm thường xảy ra khi đóng mạch (dòng điện tăng lên đột ngột) và khi ngắt mạch (dòng điện giảm đến bằng 0). Trong mạch điện xoay chiều luôn luôn xảy ra hiện tượng tự cảm.

b) **Suất điện động tự cảm** xuất hiện trong mạch khi có xảy ra hiện tượng tự cảm là $\mathcal{E}_{tc} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ (dấu trừ biểu thị định luật Lenxơ), trong đó ΔI là độ biến thiên cường độ dòng điện trong mạch trong thời gian Δt . L là **hệ số tự cảm** (hay **độ tự cảm**) của mạch, tùy thuộc vào hình dạng và kích thước của mạch, có đơn vị là henri(H) $\Phi = LI$ là từ thông tự cảm qua mạch. Độ tự cảm của ống dây dài (xôlênit):

$$L = 10^{-7} \cdot 4\pi \frac{N^2 S}{l}$$

Với ống dây có lõi là vật liệu sắt từ có độ từ thẩm μ :

$$L = \mu \cdot 10^{-7} \cdot 4\pi \frac{N^2 S}{l}$$

c) Năng lượng từ trường của ống dây tự cảm có dòng điện I chạy qua và mật độ năng lượng:

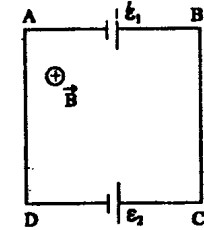
$$W = \frac{LI^2}{2} = \frac{1}{2} B^2 S l \mu \mu_0$$

$$w = \frac{W}{V} = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} \quad (\text{với } B \text{ là cảm ứng từ của từ trường của ống dây}).$$

II. BÀI TẬP THÍ DỤ

1. **Thí dụ 1.** Trên hai cạnh AB và CD của một khung dây dẫn hình vuông cạnh $a = 0,5\text{m}$, điện trở $R = 4\Omega$, người ta mắc hai nguồn điện $\mathcal{E}_1 = 10\text{V}$, $\mathcal{E}_2 = 8\text{V}$; $r_1 = r_2 = 0$ như trên hình 8.1. Mạch điện được đặt trong một từ trường đều có véc tơ cảm ứng từ $\vec{B}$ vuông góc với mặt khung dây và hướng ra sau hình vẽ, độ lớn B tăng theo thời gian theo quy luật $B = kt$, $k = 16 \text{ T/s}$. Tính cường độ dòng điện chạy trong mạch.

A. Lời giải. Vì cảm ứng từ B tăng lên từ thông qua mạch $\Phi = BS = kt.S$ tăng và trong mạch xuất hiện một suất điện động cảm ứng $\mathcal{E}_x$, dòng điện cảm ứng $\mathcal{E}_c$ sinh ra phải có chiều sao cho từ trường do nó sinh ra ngược chiều với từ trường ngoài $\vec{B}$, và do đó, nguồn điện tương đương $\mathcal{E}_c$ có các cực như trên hình 8.2. Độ lớn của suất điện động cảm ứng là:



Hình 8.1

$$\mathcal{E}_c = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta(kt.S)}{\Delta t} = kS \quad \text{với } S = a^2$$

Thay số ta được $\mathcal{E}_c = 4\text{V}$.

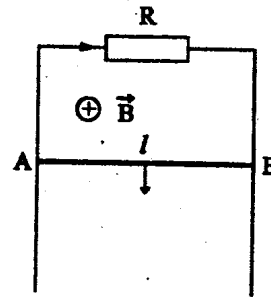
Ta thấy $\mathcal{E}_c + \mathcal{E}_2 > \mathcal{E}_1$ nên dòng điện trong mạch có chiều ngược lại kim đồng hồ (chiều đi ra từ cực dương của $\mathcal{E}_2$) và có cường độ $I = \frac{\mathcal{E}_c + \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1}{R} = 0,5\text{A}$.

B. Chú ý: Đây là loại bài toán về suất điện động cảm ứng xuất hiện trong mạch kín khi từ thông đi qua mạch thay đổi. Căn cứ vào đề bài cần tính được biểu thức của từ thông phụ thuộc vào thời gian t , sau đó áp dụng công thức tính độ lớn suất điện động $\mathcal{E}_c = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ hoặc $\mathcal{E}_c = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$. Để tìm chiều của dòng điện cảm ứng, cũng như vị trí của các cực của nguồn điện $\mathcal{E}_c$ mắc vào mạch, cần áp dụng định luật Lenxơ (thường thì, căn cứ vào chiều của dòng điện cảm ứng mà xác định vị trí các cực: dòng điện cảm ứng đi từ cực âm sang cực dương của nguồn $\mathcal{E}$). Sau khi đã xác định được $\mathcal{E}_c$ thì bài toán chuyển thành bài toán về mạch điện thông thường, và chỉ cần vận dụng các phương pháp đã biết để giải bài toán về mạch điện (xem Chủ đề 5, 6). Nếu Φ biến thiên một cách phức tạp, lúc có giá trị dương,

lúc có giá trị âm, thì cần áp dụng công thức $\mathcal{E}_c = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$

hoặc $\mathcal{E} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ (và khi đó phải lấy đạo hàm của Φ theo t).

2. **Thí dụ 2.** Hai thanh kim loại song song, thẳng đứng, có điện trở không đáng kể, một đầu nối vào điện trở $R = 0,5 \Omega$. Một đoạn dây dẫn AB, độ dài $l = 14 \text{ cm}$, khối lượng $m = 2 \text{ g}$, điện trở $r = 0,5 \Omega$ tì vào hai thanh kim loại, tự do trượt không ma sát xuống dưới và luôn luôn vuông góc với hai thanh kim loại đó. Toàn bộ hệ thống đặt trong một từ trường đều có hướng vuông góc với mặt phẳng hai thanh kim loại (hình 8.3) có cảm ứng từ $B = 0,2 \text{ T}$.



Hình 8.3

1. Xác định chiều dòng điện qua R.

2. Chứng tỏ rằng ban đầu dây dẫn AB chuyển động nhanh dần, sau một thời gian trở thành chuyển động đều. Tính vận tốc v_0 của chuyển động đều ấy và tính U_{AB} .

3. Bây giờ đặt hai thanh kim loại nghiêng với mặt phẳng nằm ngang một góc $\alpha = 60^\circ$. Độ lớn và chiều của $\vec{B}$ vẫn giữ như cũ. Tính vận tốc v_0 của chuyển động đều của dây dẫn AB và U_{AB} . Lấy $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

A. Lời giải.

1) Vận tốc trượt $\vec{v}$ của dây dẫn AB hướng thẳng đứng xuống dưới. Áp dụng quy tắc bàn tay phải, ta thấy trên đoạn dây AB, dòng điện cảm ứng có chiều từ B đến A. Do đó chiều dòng điện qua R là từ A đến B.

2) Ban đầu, do tác dụng của trọng lực $\vec{P}$ của dây dẫn, AB sẽ trượt xuống dưới. Khi đó từ thông qua mạch ARBA tăng, xuất hiện suất điện động cảm ứng $\mathcal{E}_c = Blv$, và do đó có dòng điện cảm ứng chạy trên dây AB (từ B đến A):

$$I = \frac{\mathcal{E}_c}{R + r} = \frac{Blv}{R + r}$$

Vì trên dây dẫn AB có dòng điện nên dây dẫn AB chịu tác dụng của lực từ $\vec{F}$ của từ trường $\vec{B}$. Áp dụng quy tắc bàn tay trái ta thấy lực từ $\vec{F}$ hướng thẳng đứng lên trên, và có độ lớn $F = BIl = \frac{B^2 l^2 v}{R + r}$.

Như vậy, khi trượt xuống dưới dây dẫn AB chịu tác dụng của hợp lực $\vec{P} + \vec{F}$, hợp lực này có độ lớn $P - F$, do đó gia tốc dây dẫn bằng:

$$a = \frac{F_{bl}}{m} = \frac{P - F}{m} = g - \frac{B^2 l^2 v}{m(R + r)}$$

Dây dẫn AB chuyển động nhanh dần, vận tốc v của nó tăng lên và sau một thời gian nó đạt tới giá trị v_0 , sao cho

$$a = 0 \text{ hay } g - \frac{B^2 l^2 v_0}{m(R + r)} = 0 \rightarrow v_0 = \frac{mg(R + r)}{B^2 l^2}$$

Từ lúc đó dây dẫn AB chuyển động đều với vận tốc V_0 . Thay số: $m = 1 \text{ g} = 10^{-3} \text{ kg}$; $g = 9,8 \text{ m/s}^2$; $R = r = 0,5 \Omega$; $B = 0,2 \text{ T}$; $l = 14 \text{ cm} = 1,4 \cdot 10^{-1} \text{ m}$ ta được $v_0 = 25 \text{ m/s}$. Khi đó dòng điện cảm ứng qua dây AB là: $I_0 = \frac{Blv_0}{R + r} = \frac{mg}{Bl}$.

Vì dòng điện có chiều từ B đến A nên: $U_{AB} = I_0 R = \frac{mgR}{Bl}$

Thay số ta được $U_{AB} = 0,175 \text{ V}$.

3) Nếu hai thanh kim loại đặt nghiêng với mặt phẳng nằm ngang góc $\alpha = 60^\circ$, hiện tượng vẫn xảy ra tương tự như ở câu 2. Nhưng bây giờ, trong biểu thức của suất điện động đại lượng v chỉ là thành phần $v_1 = v \sin \alpha$ của vận tốc dây dẫn $\vec{v}$ nghĩa là suất điện động cảm ứng bây giờ là $\mathcal{E}_c = Blv_1$; dòng điện cảm ứng và lực từ tác dụng lên dây dẫn AB bây giờ sẽ là :

$$I' = \frac{\mathcal{E}_c}{R+r} = \frac{Blv_1}{R+r} \quad \text{và} \quad F' = BI'l = \frac{B^2 l^2 v_1}{R+r}$$

Khi trượt xuống dưới dây dẫn AB chịu tác dụng của hợp lực $\vec{P} - \vec{F} - \vec{N}$, với $\vec{N}$ là phản lực của hai thanh kim loại ; xét theo phương chuyển động hợp lực tác dụng lên dây có cường độ $(P - F') \sin \alpha$, do đó gia tốc của dây dẫn là :

$$a = \frac{(P - F') \sin \alpha}{m} = \left[g - \frac{B^2 l^2 v_1}{m(R+r)} \right]$$

Suy ra vận tốc của chuyển động đều của dây dẫn :

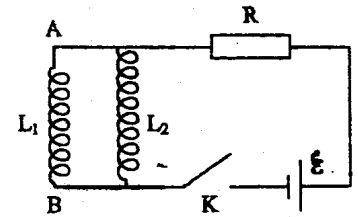
$$v_{10} = \frac{mg(R+r)}{B^2 l^2} \rightarrow v'_0 = \frac{mg(R+r)}{B^2 l^2 \sin \alpha} = \frac{v_0}{\sin \alpha}$$

Thay số ta được $U'_0 = 14,45 \text{ m/s}$.

$$\text{Từ đó } I'_0 = \frac{Blv_{10}}{R+r} = \frac{mg}{Bl} \quad \text{và} \quad U'_{AB} = I'_0 R = \frac{mgR}{Bl} = 0,175 \text{ V}$$

B. Chú ý : Đây là loại bài toán về suất điện động cảm ứng xuất hiện trên đoạn dây dẫn chuyển động cắt ngang đường cảm ứng từ của từ trường. Trong trường hợp này chiều của dòng điện cảm ứng (và do đó vị trí các cực của nguồn điện tương đương $\mathcal{E}_c$) được xác định theo quy tắc bàn tay trái. Ở thí dụ trên không cần thiết phải vẽ nguồn $\mathcal{E}_c$ nhưng trong các trường hợp khác nên vẽ nguồn $\mathcal{E}_c$ (như ở thí dụ 1). Sau khi đã xác định được $\mathcal{E}_c$ và chiều dòng điện cảm ứng thì bài toán chuyển thành các bài toán quen thuộc về điện từ (và cả về cơ học).

3. Thí dụ 3. Hai cuộn dây siêu dẫn mắc song song, có độ tự cảm L_1 và L_2 nối qua điện trở R với nguồn điện có suất điện động $\mathcal{E}$, điện trở trong r . Đóng K. Tìm cường độ dòng điện ổn định trong các cuộn dây và dòng điện trong mạch chính. Bỏ qua sự hỗ cảm giữa các cuộn dây (hình 8.4).



Hình 8.4

A. Lời giải. Tại thời điểm bất kỳ hiệu điện thế giữa hai đầu A, B của hai cuộn dây như nhau. Ngay sau khi đóng K trong các cuộn dây có suất hiện các suất điện động tự cảm :

$$\mathcal{E}_{tc1} = -L_1 \frac{\Delta I_1}{\Delta t}; \quad \mathcal{E}_{tc2} = -L_2 \frac{\Delta I_2}{\Delta t}$$

Vì các cuộn dây là siêu dẫn (có điện trở bằng không), nên theo định luật Ôm (vì hiệu điện thế giữa hai đầu A, B của chúng bằng nhau) ta có $L_1 \frac{\Delta I_1}{\Delta t} = L_2 \frac{\Delta I_2}{\Delta t}$, hay $L_1 \Delta I_1 = L_2 \Delta I_2$ (1).

Ở thời điểm ban đầu, khi chưa đóng K, các dòng điện đều bằng không. Do đó khi cường độ dòng điện ổn định trong hai cuộn dây và bằng I_1, I_2 , thì theo (1), ta sẽ có $L_1 I_1 = L_2 I_2$ (2).

Áp dụng định luật Ôm, ta có $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$ (3).

Và ngoài ra $I = I_1 + I_2$ (4)

Từ (2), (3), (4) ta tìm được :

$$I_1 = \frac{L_2}{L_1 + L_2} \frac{\mathcal{E}}{R+r} \quad \text{và} \quad I_2 = \frac{L_1}{L_1 + L_2} \frac{\mathcal{E}}{R+r}$$

B. Chú ý : Đây là loại bài toán về hiện tượng tự cảm. Cần phân tích kỹ hiện tượng và áp dụng công thức về suất điện động tự cảm. Nói chung loại bài toán này phức tạp, vì hiện tượng tự cảm do sự biến thiên từ thông của chính

dòng điện trong mạch gây ra (và về mặt toán học cần có kiến thức về đạo hàm). Do đó chỉ xét các bài toán trong khuôn khổ kiến thức lớp 11 (về vật lý và về toán). Trong thí dụ có nói đến sự hồ cảm : đó là hiện tượng cảm ứng xảy ra do từ thông của mạch nọ gửi qua mạch kia biến thiên khi hai mạch (hai cuộn dây) đặt gần nhau : trong các bài toán phổ thông ta không xét đến hiện tượng này.

III. BÀI TẬP LUYỆN TẬP

8.1. Một ống dây dài (xôlênit), có đường kính $d = 5 \text{ cm}$, gồm $N = 1000$ vòng dây đồng có tiết diện $S = 0,2 \text{ mm}^2$, được đặt trong một từ trường đều có véc tơ cảm ứng từ $\vec{B}$ song song với trục ống dây ; cảm ứng từ biến thiên với tốc độ $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 10^{-2} \text{ T/s}$.

1) Nếu mắc vào hai đầu của ống dây một tụ điện có điện dung $C = 10 \mu\text{F}$ thì điện tích của tụ điện sẽ bằng bao nhiêu?

2) Nếu bỏ tụ điện đi và nối tắt (đoạn mạch) hai đầu ống dây lại với nhau thì công suất ở ống dây bằng bao nhiêu ? Điện trở suất của đồng là $\rho = 1,75 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$.

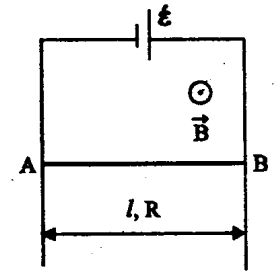
8.2. Một vòng dây siêu dẫn có độ tự cảm L , bán kính r , được đặt trong một từ trường đều, có cảm ứng từ tăng từ 0 đến B_0 và đường cảm ứng từ vuông góc với mặt vòng dây. Hãy xác định dòng điện cảm ứng I xuất hiện trong vòng dây.

8.3. Một vòng dây dẫn, có điện trở trên một mét dài là $R_0 = 1 \Omega$, có đường kính $d = 0,8 \text{ m}$, được đặt trong một từ trường có véc tơ cảm ứng từ $\vec{B}$ vuông góc với mặt phẳng vòng dây.

1) Tìm tốc độ biến thiên $\frac{\Delta B}{\Delta t}$ của từ trường để cường độ dòng điện chạy trong vòng dây bằng $I = 1 \text{ A}$.

2) Mắc ampe kế A_1 vào trong vòng dây và ampe kế A_2 với hai đầu A, B của đường kính AOB (điện trở các ampe kế nhỏ không đáng kể). Tìm số chỉ của các ampe kế, biết rằng cảm ứng từ B biến đổi theo thời gian theo quy luật $B = kt$ (t là thời gian tính bằng giây, k là một hằng số). Thay ampe kế A_2 bằng một vôn kế có điện trở rất lớn, tìm số chỉ vôn kế và ampe kế A_1 .

8.4. Hai thanh kim loại đặt song song thẳng đứng, điện trở không đáng kể, hai đầu trên được khép kín bằng một nguồn điện có suất điện động $\mathcal{E}$ và điện trở trong $r = 0,2 \Omega$. Một đoạn dây dẫn AB có khối lượng $m = 10 \text{ g}$, dài $l = 20 \text{ cm}$, điện trở $r = 2 \Omega$, trượt không ma sát theo hai thanh kim loại đó (AB luôn luôn vuông góc với từ



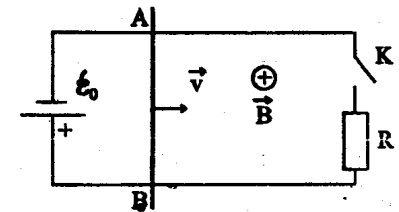
Hình 8.7

trường đều $\vec{B}$, có $B = It$ (hình 8.7)

a) Giả sử nguồn điện có suất điện động $\mathcal{E} = 1 \text{ V}$ và AB đi xuống. Hãy tính vận tốc của AB khi đã đạt tới giá trị không đổi v_0 .

b) Nguồn điện phải có suất điện động bằng bao nhiêu để AB đi lên với vận tốc v_0 ?

8.5. Hai dây dẫn thẳng song song, điện trở không đáng kể, đặt trong mặt phẳng nằm ngang, một đầu nối vào nguồn điện $\mathcal{E}_0$ ($\mathcal{E}_0 = 3 \text{ V}$; $r_0 = 1,5 \Omega$), còn đầu kia nối với điện trở



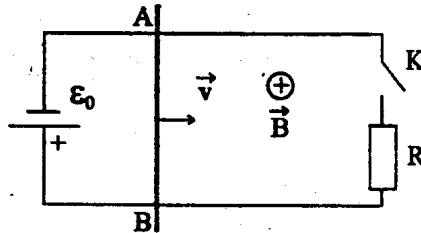
Hình 8.8

$R = 1 \Omega$ qua a khoá K. Một thanh kim loại AB, có chiều dài $l = 20 \text{ cm}$, điện trở $r = 1 \Omega$, đặt vuông góc với hai dây dẫn nối trên, trượt không ma sát dọc theo hai dây dẫn ấy với vận tốc $v = 20 \text{ m/s}$. Mạch điện đặt trong từ trường đều có cảm ứng từ $\vec{B}$ hướng thẳng đứng và có độ lớn $B = 0,5 \text{ T}$ (xem hình 8.8).

1) Ban đầu K mở. Tính cường độ dòng điện qua AB và hiệu điện thế U_{AB} .

2) Cũng câu hỏi như trên khi đóng khoá K.

8.6. Trong một miền không gian hẹp có từ trường đều với cảm ứng từ $B = 1\text{T}$, người ta đặt một khung dây dẫn hình chữ nhật có điện trở $R = 1\Omega$ và có cạnh AB song song với đường giới hạn của miền có từ trường ($AB = l = 40\text{ cm}$). Mặt phẳng của khung dây nằm ngang và vuông góc với véc tơ cảm ứng từ $\vec{B}$ (hình 8.9). Người ta kéo khung ra khỏi từ trường với vận tốc $v = 6\text{ m/s}$ theo phương vuông góc với AB và với $\vec{B}$. Tính công suất tiêu thụ.



Hình 8.9

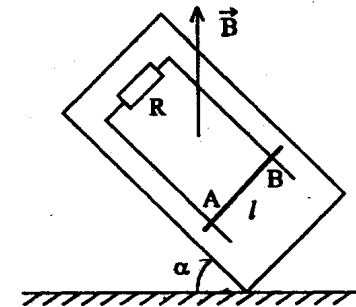
8.7. Một khung dây dẫn hình vuông cạnh a , có khối lượng m và điện trở R , được truyền một vận tốc v_0 theo phương ngang. Khung chuyển động trong mặt phẳng thẳng đứng xOz trong một từ trường nằm ngang với cảm ứng từ $\vec{B}$ hướng theo trục Oy vuông góc với xOz , có độ lớn B biến thiên theo toạ độ z (trục Oz hướng thẳng đứng xuống dưới) theo quy luật $B = B_0 - kz$ (B_0 và k là hằng số). Sau một thời gian khung đạt được vận tốc không đổi bằng v . Hãy tính U_0 . Coi như từ thông gửi qua khung được tính theo công thức $\Phi = a^2 B$ (B là cảm ứng từ tại tâm O của khung).

8.8. Trong mặt phẳng nghiêng một góc $\alpha = 60^\circ$ so với mặt phẳng nằm ngang có hai thanh kim loại cố định, song song dọc theo đường dốc chính, cách nhau một khoảng $l = 20\text{ cm}$, nối với nhau bằng một điện trở $R = 2\Omega$. Một đoạn dây dẫn AB, điện trở $r = 1\Omega$, khối lượng $m = 10\text{ g}$, đặt vuông góc với hai thanh kim loại, có thể trượt không ma sát trên hai thanh đó. Hệ thống được đặt trong một từ trường đều có cảm ứng từ $\vec{B}$

hướng thẳng lên trên, $B = 2,5\text{T}$. Người ta thả cho đoạn dây dẫn AB trượt không có vận tốc đầu.

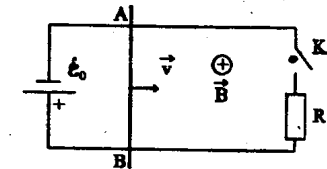
1) Mô tả hiện tượng và giải thích tại sao vận tốc v của AB chỉ tăng đến giá trị $V_{\max}$. Tính $V_{\max}$, chiều và cường độ dòng điện qua R.

2) Thay điện trở R bằng bộ tụ điện có điện dung $C = 10\text{ mF}$. Chứng minh rằng lực từ tác dụng lên AB có độ lớn tỉ lệ với gia tốc a của AB. Tính a . Lấy $g = 10\text{ m/s}^2$.



Hình 8.11

8.9. Một ống dây dẫn dài, có chiều dài $l = 1\text{ m}$, gồm $N = 1000$ vòng dây tiết diện mỗi vòng $S = 0,01\text{ m}^2$, có lõi bằng thép lá, có dòng điện $I = \frac{5}{12}\text{ A}$



Hình 8.13

chạy qua. Hãy tính: cảm ứng từ B trong lõi thép, độ từ thẩm μ của lõi thép và độ tự cảm L của ống dây có lõi thép. Xem rằng từ trường trong lõi thép là từ trường đều, và biết rằng, theo thực nghiệm thì khi cảm ứng từ trong chân không $B_0 = 0,5 \cdot 10^{-3}\text{ T}$ thì khi cảm ứng từ trong lõi thép $B = \mu B_0 = 1,2\text{ T}$.

8.10. Một vòng dây dẫn đường kính d được đặt trong từ trường đều có cảm ứng từ $\vec{B}$ song song với trục của vòng dây. Hai thanh kim loại có một đầu gắn với trục đi qua O và vuông góc với mặt phẳng vòng dây; cả hai thanh đều tiếp xúc điện với vòng dây.

1) Ban đầu hai thanh tiếp xúc với nhau, sau đó một thanh đứng yên còn thanh kia quay quanh O với tốc độ ω . Tìm cường độ dòng điện qua hai thanh và qua vòng dây

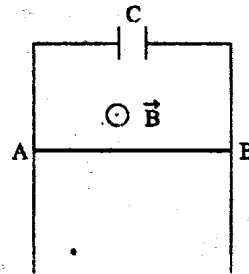
dẫn sau thời gian t . Cho biết điện trở mỗi đơn vị dài của thanh kim loại và của vòng dây dẫn là r .

2) Bây giờ cho cả hai thanh quay với vận tốc ω_1 và ω_2 ($\omega_1 > \omega_2$). Tìm hiệu điện thế giữa hai đầu mỗi thanh. Xét hai trường hợp :

a) Hai thanh quay cùng chiều

b) Hai thanh quay ngược chiều

8.11. Hai thanh kim loại song song, thẳng đứng, một đầu nối với một tụ điện C . Một đoạn dây dẫn AB , độ dài l , khối lượng m , tì vào hai thanh kim loại, tự do trượt không ma sát xuống dưới và luôn luôn vuông góc với hai thanh kim loại đó. Toàn bộ hệ thống đặt trong một từ trường đều có véc tơ cảm ứng từ $\vec{B}$ vuông góc với mặt phẳng hai thanh kim loại (hình 8.14). Bỏ qua điện trở trong mạch.



Hình 8.14

1) Tính gia tốc a của AB và cho biết sự biến đổi năng lượng trong mạch.

2) Bây giờ đặt hai thanh kim loại nghiêng với mặt phẳng nằm ngang một góc α . Độ lớn và chiều của cảm ứng từ $\vec{B}$ vẫn như cũ. Ban đầu AB được thả từ vị trí cách đầu dưới của thanh kim loại một đoạn d . Tìm thời gian để AB bắt đầu rời khỏi thanh kim loại và vận tốc của AB khi đó.

HƯỚNG DẪN GIẢI VÀ ĐÁP SỐ CÁC BÀI TẬP VỀ CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

8.1. 1) Độ lớn của suất điện động cảm ứng xuất hiện trong ống dây:

$$\mathcal{E}_c = N \frac{\pi \Phi}{\Delta t}, \text{ với } \Phi = BS' \rightarrow \mathcal{E}_c = N \frac{S' \Delta B}{B}, \text{ với } S' = \frac{\pi d^2}{4}$$

Điện tích của tụ điện $q = CU$ với $U = \mathcal{E}_c$ (vì mạch hở). Suy ra:

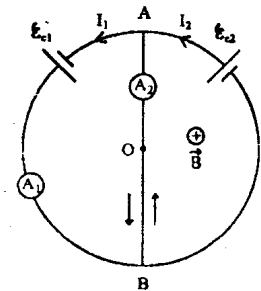
$$q = CN \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t}. \text{ Thay số ta được } q = 1,96 \cdot 10^{-7} \text{ C.}$$

2) Khi nối tắt, cường độ dòng điện qua ống dây $I = \frac{\mathcal{E}_c}{R}$

với $R = \rho \frac{l}{S}$; $l = N \cdot \pi d$. Công suất nhiệt của ống dây:

$$P = RI^2 = \frac{\mathcal{E}_c^2}{R}. \text{ Thay số ta được } P \approx 2,8 \cdot 10^{-5} \text{ W.}$$

8.2. Vì điện trở của vòng dây siêu dẫn bằng 0, nên tổng đại số các suất điện động xuất hiện trong vòng dây phải bằng 0. (Thật vậy vì $\sum \mathcal{E} = RI$, mà $R = 0$ nên $\sum \mathcal{E} = 0$). Suất điện động trong vòng dây gồm hai thành phần : suất điện động cảm ứng $\mathcal{E}_c$ do từ thông của từ trường ngoài đang tăng (vì cảm ứng từ ngoài B tăng từ 0 đến B_0) gây ra, và suất điện động tự cảm $\mathcal{E}_{tc}$ do dòng điện xuất hiện trong vòng dây đang tăng gây ra. Hai suất điện động này tác dụng ngược chiều nhau. Tổng đại số hai suất điện động đó chỉ bằng 0, khi độ biến thiên của từ thông toàn phần gửi qua vòng dây bằng 0. Như vậy có nghĩa là sự biến thiên của từ thông ngoài $\Delta \Phi = \Phi_0 = B_0 \cdot \pi r^2$ phải bằng và ngược dấu với sự biến thiên của từ thông do dòng điện cảm ứng tạo ra $\Delta \Phi_{tc} = L \Delta I = LI$ (vì dòng điện cảm ứng biến thiên từ 0 đến I).



Hình 8.5

Kết quả là ta có : $LI = B_0 \pi r^2$. Suy ra $I = \frac{B_0 \pi r^2}{L}$.

8.3. 1) Suất điện động cảm ứng xuất hiện trong vòng dây có độ lớn :

$$\mathcal{E}_c = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = S \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t} \text{ với } S = \frac{\pi d^2}{4}$$

Cường độ dòng điện cảm ứng trong vòng dây bằng :

$$I = \frac{\mathcal{E}_c}{R} = 1A \rightarrow \frac{\Delta B}{\Delta t} = 5T/s$$

2) $I_{A1} = 0,2k$; $I_{A2} = 0$; $v = 0$

8.4. a) Lập luận tương tự như ở thí dụ 2. Khi lực từ tác dụng lên dây AB cân bằng với trọng lực của nó thì vận tốc của AB đạt giá trị không đổi v_0 và từ đó AB chuyển động đều. Áp dụng định luật Lenxơ ta thấy nguồn điện tương đương $\mathcal{E}_c$ mắc nối tiếp với $\mathcal{E}_c$ và bằng :

$$\mathcal{E}_c = Blv_0 . \text{ Từ đó } I' = \frac{\mathcal{E} + \mathcal{E}_c}{R+r} = \frac{\mathcal{E} + Blv_0}{R+r}$$

Từ điều kiện $F = mg$, suy ra $Bil = mg$. Từ đó rút ra:

$$v_0 = \frac{mg(R+r)}{Bl} - \mathcal{E} = 1m/s$$

b) Khi AB đi lên với vận tốc v_0 thì nguồn điện tương đương $\mathcal{E}_c$ mắc xung đối với $\mathcal{E}$ và $\mathcal{E} > \mathcal{E}_c$ (để lực từ vẫn hướng lên trên $F > P$), với $\mathcal{E}_c = Blv_0$. Ta có :

$$I = \frac{\mathcal{E} - \mathcal{E}_c}{R+r} = \frac{\mathcal{E} - Blv_0}{R+r} \text{ và } Bil = mg. \text{ Suy ra :}$$

$$\mathcal{E} = \frac{mg(R+r)}{B} - Bv_0l = 2,4V.$$

8.5. Khi AB chuyển động trong từ trường, trong đoạn dây dẫn AB xuất hiện suất điện động $\mathcal{E}_c$ có độ lớn $\mathcal{E}_c = Bvl = 2V$. Vị trí các cực của nguồn điện tương đương được xác định

theo quy tắc bàn tay phải : như vậy nguồn điện $\mathcal{E}_c$ có cực dương nối với B và cực âm nối với A.

a) Khi K mở, mạch điện $A\mathcal{E}_0C$ gồm hai nguồn $\mathcal{E}_0$ và $\mathcal{E}_c$ mắc xung đối. Vì $\mathcal{E}_0 = 3V > \mathcal{E}_c$ nên $\mathcal{E}_0$ là nguồn phát, dòng điện đi ra từ cực dương của nguồn $\mathcal{E}_0$ chạy trên đoạn AB từ B đến A, và có cường độ $I = \frac{\mathcal{E}_0 - \mathcal{E}_c}{r_0 + r} = 0,4A$. Hiệu điện thế

$$U_{BA} = \mathcal{E}_0 - r_0I = 2,4V.$$

b) Khi K đóng, mạch điện gồm hai nguồn $\mathcal{E}_0$ và $\mathcal{E}_c$ mắc song song (cực dương đều nối với B) với điện trở ngoài R. Giả sử dòng điện I_1 và I_2 đều phát ra từ nguồn $\mathcal{E}_0$ và $\mathcal{E}_c$ đi tới B, còn dòng I qua R đi theo chiều BRA. Áp dụng định luật Ôm ta có :

$$U_{BA} = \mathcal{E}_0 - r_0I_1 = \mathcal{E}_c - rI_2 = IR ; \text{ ngoài ra } I = I_1 - I_2 .$$

Thay số và giải ra ta được $I_1 = 1A$; $I_2 = 0,5A$ và $I = 1,5A$, và $U_{BA} = IR = 1,5A$.

$$I = \frac{\mathcal{E}_c}{R} \text{ với } R = \pi d.R_0. \text{ Suy ra } \frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{4IR_0}{d} = 5T/s .$$

2) Khi mắc ampe kế A_2 ta có hai mạch kín, ở mỗi mạch kín xuất hiện một suất điện động cảm ứng. Áp dụng định luật Lenxơ, hai nguồn tương đương $\mathcal{E}_{c1}$ và $\mathcal{E}_{c2}$ trên hai đoạn mạch kín đó được mắc như ở hình vẽ 8.5 và có độ lớn :

$$\mathcal{E}_{c1} = \mathcal{E}_{c2} = \frac{\Delta \Phi_1}{\Delta t} = S_1 \cdot \frac{k\Delta t}{\Delta t} = kS_1, \text{ với } S_1 = S_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi d^2}{8} .$$

Vì hai mạch kín có điện trở như nhau nên cường độ dòng điện cảm ứng trong mỗi mạch có trị số bằng nhau.

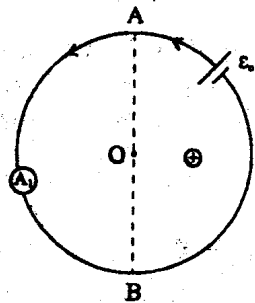
$$I_1 = I_2 = I = \frac{\mathcal{E}_{c1}}{R/2} = \frac{kd}{4R_0} .$$

Còn trên đường kính AB, hai dòng I_1 và I_2 chạy ngược chiều nhau, nghĩa là dòng điện chạy trên đường kính AB có

cường độ $I_1 - I_2 = 0$: ampe kế A_2 chỉ số 0. Theo câu 1 $\frac{\Delta B}{\Delta t} = k = 5 \text{ T/s}$.

Thay số ta được : $I_1 = I_2 = I = 1 \text{ A}$: ampe kế A_1 chỉ 1A. Nếu thay ampe kế A_2 bằng một vôn kế có điện trở rất lớn, có thể tháo bỏ vôn kế đi và ta có một mạch kín như ở câu 1. Nguồn điện tương đương ε_c mắc như ở hình 8.6. Số chỉ của ampe kế A_1 vẫn bằng 1A. Số chỉ vôn kế bằng U_{AB} . Ta có :

$$U_{AB} = I \cdot \frac{R}{2} \approx 1,26 \text{ V}.$$



Hình 8.6

8.6. Khi toàn bộ khung dây còn nằm trong từ trường thì từ thông qua khung không thay đổi, trong khung không xuất hiện dòng điện cảm ứng, do đó không xuất hiện lực từ cản trở chuyển động. Dòng điện cảm ứng chỉ xuất hiện khi cạnh CD của khung bắt đầu vượt khỏi đường giới hạn của miền có từ trường và sẽ kết thúc khi toàn bộ khung dây ra khỏi miền có từ trường. Khi đoạn CD vừa ra khỏi đường giới hạn thì suất điện động cảm ứng chỉ xuất hiện ở đoạn AB và có độ lớn

$$\varepsilon_c = Bv_l = 2,4 \text{ V}.$$

Cường độ dòng điện chạy trong khung : $I = \frac{\varepsilon_c}{R} = 2,4 \text{ A}$

Công suất tỏa nhiệt trên khung là $P = RI^2 = 5,76 \text{ W}$. Theo định luật bảo toàn năng lượng thì công suất lực kéo cũng bằng 5,76W. Đó là công suất dùng để thắng lực cản của từ trường và chuyển hoá cơ năng thành nhiệt (nội năng).

8.7. Ở thời điểm t khi tâm O của khung có toạ độ z, từ thông qua khung bằng :

$$\Phi = a^2 B = a^2 (B_0 + kz) \quad (\text{hình 8.10}).$$

Suất điện động cảm ứng xuất hiện trong khung (do vị trí khung, tức là toạ độ z biến đổi với thời gian) là

$$\varepsilon_c = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - a^2 k \frac{\Delta z}{\Delta t} = - akv_z (v_z$$

là thành phần của vận tốc $\vec{v}$ theo phương z). Dòng điện cảm ứng xuất hiện trong khung có cường độ

$$I = \frac{|\varepsilon_c|}{R} = \frac{a^2 k v_z}{R} \quad \text{và có chiều}$$

Hình 8.10

như trên hình vẽ (áp dụng định luật Lenxơ). Xét lực điện từ tác dụng lên các cạnh của khung dây, ta thấy các lực điện từ $\vec{F}_3$ và $\vec{F}_4$ tác dụng lên các cạnh A và C triệt tiêu nhau, còn các lực điện từ $\vec{F}_1$ và $\vec{F}_2$ tác dụng lên các cạnh AB và CD hướng ngược nhau, có độ lớn bằng:

$$F = F_3 - F_1 = (B_3 - B_1)Ia = \frac{k^2 a^4}{R} v_z,$$

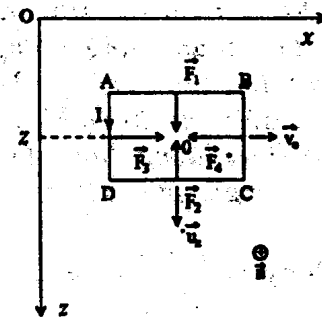
và hướng thẳng đứng lên trên. Hợp lực tác dụng lên không bằng $\vec{P} - \vec{F}$, có độ lớn $P - F$. Sau một thời gian khung đạt đến vận tốc không đổi v, khi đó $P = F$; suy ra :

$$\frac{K^2 a^4 v_z}{R} = mg \rightarrow v_z = \frac{mgR}{k^2 a^4}$$

Vận tốc tổng cộng $\vec{v}$ của khung

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{v}_z, \text{ có độ lớn } v = \sqrt{v_0^2 + v_z^2}.$$

$$\text{Suy ra } v_0 = \sqrt{v^2 - v_z^2} = \sqrt{v^2 - \frac{m^2 g^2 R^2}{k^4 a^8}}.$$



Chú ý : Có thể tính được v_z bằng cách áp dụng định luật bảo toàn năng lượng : Khi khung đã đạt vận tốc v không đổi, tức v_z cũng không đổi thì động năng của khung không đổi; khi đó độ biến thiên của thế năng (trọng trường) bằng nhiệt lượng $J_{un} = I^2 R \Delta t$ do dòng điện I toả ra trên R :

$$\text{Thay } I = \frac{k a^2 v_z}{R} \text{ vào ta tìm được } v_z.$$

8.8. 1) Lập luận như ở thí dụ 2. Chiều của dòng điện cảm ứng trong AB là từ B đến A (quy tắc bàn tay phải), do đó dòng điện cảm ứng chạy qua R theo chiều từ A đến B. Suất điện động cảm ứng xuất hiện trong dây AB có độ lớn: $\varepsilon_c = Blv = Blv \cos \alpha$ (v_1 là thành phần của $\vec{v}$ vuông góc với $\vec{B}$), và do đó dòng điện trong mạch có

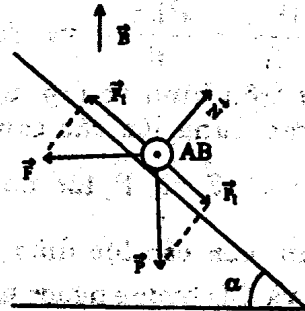
$$\text{cường độ } I = \frac{\varepsilon_c}{R+r} = \frac{Blv \cos \alpha}{R+r}.$$

Lực từ $\vec{F}$ tác dụng lên AB có phương vuông góc với $\vec{B}$ và với dây AB, có chiều xác định bởi quy tắc bàn tay trái (hình 8.12) và có độ lớn (vì $\vec{B} \perp \text{AB}$) :

$$F = BIl = \frac{B^2 l^2 v \cos \alpha}{R+r}.$$

Dây AB chịu tác dụng của ba lực $\vec{F}$, $\vec{P}$ và $\vec{N}$. Dây có vận tốc $v_{\max}$ và chuyển động đều khi $\vec{F} + \vec{P} + \vec{N} = 0$. Xét theo phương chuyển động, khi đó ta có : $F_t = P_t \rightarrow F \cos \alpha = P \sin \alpha$

$$\rightarrow \frac{B^2 l^2 v_{\max} \cos^2 \alpha}{R+r} = mg \sin \alpha \rightarrow v_{\max} = \frac{(R+r)mg \sin \alpha}{B^2 l \cos^2 \alpha}$$



Hình 8.12

Cường độ dòng điện đi qua R khi đó bằng:

$$I = \frac{mg \sin \alpha}{Bl \cos \alpha} = \frac{mg}{Bl} \tan \alpha.$$

Thay số ta được $v_{\max} = 4,13 \text{ m/s}$ và $I = 0,346 \text{ A}$.

2) Nếu thay điện trở R bằng độ tự cảm C thì trong mạch vẫn có dòng điện cảm ứng, dòng này nạp điện cho tụ điện. Điện tích tụ điện $q = CU = C \varepsilon_c = CBlv_1$, suy ra dòng điện trong mạch $I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = CBl \frac{\Delta v_1}{\Delta t}$ với $v_1 = v \cos \alpha$,

$$\text{hay } I = CBl \cos \alpha \frac{\Delta v}{\Delta t} = CBl \cos \alpha a \text{ với } a \text{ là gia tốc của AB.}$$

Do đó lực từ tác dụng lên AB bằng $F = BIl = CB^2 l^2 a$. Tương tự như câu 1, xét theo phương chuyển động ta có:

$$P_t - F_t = ma \rightarrow mg \sin \alpha - F \cos \alpha = ma \rightarrow$$

$$a = \frac{mg \sin \alpha}{m + B^2 l^2 C \cos^2 \alpha}.$$

Vậy dây AB chuyển động nhanh dần đều với gia tốc bằng a .

Thay số ta được $a = 4,32 \text{ m/s}^2$.

8.9. Khi không có lõi thép, cảm ứng từ trong ống dây dài đặt trong chân không (hoặc không khí) bằng :

$$B_0 = 10^{-7} \cdot 4\pi \frac{N}{l} I.$$

Thay số ta được $B_0 = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ T}$.

Theo thực nghiệm khi $B_0 = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ T}$ thì $B = 1,2 \text{ T}$. Vậy cảm ứng từ B trong lõi thép khi đặt lõi thép trong ống dây bằng $B = 1,2 \text{ T}$.

$$\text{Độ từ thẩm } \mu \text{ của lõi thép bằng } \mu = \frac{B}{B_0} = 2400$$

Độ tự cảm L của ống dây có lõi thép : $L = 10^{-7} m \cdot 4\pi \frac{N^2 S}{l}$.

Thay số ta được $L = 30H$.

8.10. Trước hết ta tìm biểu thức tính suất điện động cảm ứng xuất hiện trên một thanh kim loại quay trong mặt phẳng vuông góc với từ trường, theo công thức :

$$\mathcal{E}_c = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = B \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Với ΔS là diện tích mà thanh quét được trong thời gian Δt . Gọi ω là vận tốc góc của thanh, trong khoảng thời gian Δt , thanh quay được một góc $\Delta\varphi = \omega\Delta t$ và quét được một diện tích $\Delta S = \frac{\pi r^2}{2\pi} \cdot \Delta\varphi = \frac{r^2}{2} \omega \Delta t$ (r là chiều dài của thanh).

Do đó suất điện động cảm ứng xuất hiện trên thanh bằng :

$$\mathcal{E}_c = B \cdot \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{Br^2 \omega}{2}$$

1) Khi thanh OB quay với vận tốc góc ω , suất điện động cảm ứng $\mathcal{E}_c$ xuất hiện trên thanh OB (và trên đoạn mạch BOA) bằng :

$$\mathcal{E}_c = \frac{BR^2 \omega}{2} = \frac{Bd^2 \omega}{8} \quad (OB = R = \frac{d}{2}).$$

Hai đoạn mạch BCA ($BCA = l_1$) và BDA ($BDA = l_2$; $l_1 + l_2 = 2\pi R$) mắc song song với nhau, có các dòng I_1 , I_2 chạy qua. Gọi I là dòng điện qua hai thanh :

$$I = I_1 + I_2 \quad (1)$$

Áp dụng định luật Ôm ta có :

$$U_{AB} = I_1(l_1 r) = I_2(l_2 r) = \mathcal{E}_c - I \left(2 \cdot \frac{d}{2} \cdot r \right) \quad (2)$$

Từ (1) và (2) suy ra: ($l_1 = R\omega t$; $l_2 = 2\pi R - l_1 = 2\pi R - R\omega t$):

$$I = \frac{B\omega d}{4(2 + \omega t - \frac{\omega^2 t^2}{2\pi})r}; \quad I_1 = (1 - \frac{\omega t}{2\pi})I; \quad I_2 = \frac{\omega t}{2\pi}I.$$

2) Ở hai thanh có hai suất điện động cảm ứng :

$$\mathcal{E}_{c1} = \frac{B\omega_1 R^2}{2\pi}, \quad \mathcal{E}_{c2} = \frac{B\omega_2 R^2}{2\pi}$$

a) Hai nguồn điện tương đương $\mathcal{E}_{c1}$ và $\mathcal{E}_{c2}$ mắc xung đối, bộ nguồn có suất điện động (vì $\omega_1 > \omega_2$).

$$\mathcal{E}_c = \mathcal{E}_{c1} - \mathcal{E}_{c2} = \frac{BR^2}{2}(\omega_1 - \omega_2) = \frac{Bd^2}{8}(\omega_1 - \omega_2)$$

Lập luận tương tự như ở câu 1, ta có :

$$I = \frac{B\omega d}{4(2 + \omega_0 t - \frac{\omega_0^2 t^2}{2\pi})r}; \quad I_1 = (1 - \frac{\omega_0 t}{2\pi})I; \quad I_2 = \frac{\omega_0 t}{2\pi}I$$

với $\omega_0 = \omega_1 - \omega_2$. Hiệu điện thế ở hai đầu mỗi thanh :

$$U_1 = \mathcal{E}_{c1} - I \left(\frac{d}{2} \cdot r \right); \quad U_2 = \mathcal{E}_{c2} - I \left(\frac{d}{2} \right) r;$$

b) Kết quả tương tự như trên với $\omega_0 = \omega_1 - \omega_2$

8.11. Lập luận và tính toán như ở bài 8.8.

1) Lực từ tác dụng lên AB

$$F = BIl, \text{ với } I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{C\Delta\mathcal{E}_c}{\Delta t} = CBl \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} = CBl_a$$

Phương trình chuyển động của AB : $P - F = ma$, suy ra

$$a = \frac{mg}{m + CB^2 l^2}$$

Khi AB đi xuống, thế năng trọng trường của AB chuyển hoá thành động năng của AB và năng lượng điện trường trong tụ điện.

Khi hai thanh kim loại nghiêng góc α so với mặt phẳng nằm ngang, xét theo phương chuyển động, phương trình chuyển động của AB là :

$$P \sin \alpha - F \sin \alpha = ma$$

Suy ra
$$a = \frac{mgs \sin \alpha}{m + CB^2 l^2 \sin \alpha}$$

Thời gian khi AB rời khỏi hai thanh kim loại : $d = \frac{at^2}{2}$

$$\rightarrow t = \sqrt{\frac{2d}{mgs \sin \alpha} (m + CN^2 l^2 \sin \alpha)}$$

Vận tốc của AB khi đó bằng $v = at = \sqrt{\frac{2dmg \sin \alpha}{m + CB^2 l^2 \sin \alpha}}$

Chú ý : Khi $\alpha = \frac{\pi}{2}$ ta tìm lại kết quả như ở câu 1.